

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

ENTRETIENS
SUR LA PHYSIQUE

par

G. F. PARROT,

Professeur de Physique à Dorpat, membre du comité des écoles, Chevalier et Conseiller des collèges de Russie, de l'Institut royal de sciences des Pays-bas, de la Société royale des Sciences de Harlem, des Académies des Sciences de Pétersbourg et de Munic et de plusieurs autres Sociétés littéraires.

TOME SECOND

avec 3 planches.

DE L'IMPRIMERIE DE J. C. SCHÜNMANN,
Imprimeur de l'Université impériale de Dorpat.

1819.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

Vingtième entretien.

Vingt et unième entretien.

Vingtdeuzième entretien.

Vingttroisième entretien.

Vingtquatrième entretien.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

page.

TRENTIÈME ENTRETIEN.

TRENTE ET UNIÈME ENTRETIEN.

TRENTEDEUXIÈME ENTRETIEN.

DIXSEPTIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de L.* Vous nous avez annoncé, Monsieur *de P.*, qu'il serait question aujourd'hui du mouvement des fluides. Cela nous amènera toute la clique sorcière des Mathématiques ; les ouvrages d'hydraulique les plus nouveaux n'étant qu'un tissu d'horribles formules.

Mr. de P. Prenez garde à vous, Général! Jnjurier les Mathématiques est un mauvais moyen de m'engager à conjurer l'orage.

Mr. de L. Je ris de votre menace. Voilà quelqu'un (en montrant Madame *de L.*) qui me sert de paratonnerre contre vos foudres.

Mde. de L. Sachez lui gré, Monsieur *de P.*, de l'aveu qu'il fait qu'une femme est assez puissante pour le protéger.

Mr. de P. Volontiers, Madame, d'autant plus que ce que nous savons de plus important sur le mouvement des fluides est susceptible d'être traité sans les sublimes calculs qu'on y a employés, souvent à pure perte, et qui ne sont vraiment indispensables que lorsqu'il s'agit d'estimer l'effet des machines hydrauliques. La théorie du mouvement des fluides, entant qu'elle

VINGTIÈME ENTRETIEN.

VINGT ET UNIÈME ENTRETIEN.

VINGTDEUZIÈME ENTRETIEN.

VINGTTROISIÈME ENTRETIEN.

VINGTQUATRIÈME ENTRETIEN.

Vingtcinquième entretien.

Vingtsixième entretien.

Vingthuitième entretien.

Vingtneuvième entretien.

Ainsi la surface de nos nappes d'eau n'est plane qu'en apparence et lorsque nous avons des masses d'eau qui communiquent entre elles, il faut considérer leurs surfaces comme des portions d'une même surface de sphère qui a pour rayon le rayon de la terre. Par-conséquent ces deux surfaces seront dans le même plan horizontal.

Ce théorème important, qui est le fondement de toute la théorie de l'équilibre des fluides (Hydrostatique) se prouve par une expérience bien simple.

On prend un tuyau recourbé acb (fig. 1) dont les branches peuvent être de grosseur égale ou inégale et placées verticalement ou non; on y verse de l'eau, plus ou moins et l'on observe que, dès que l'eau est tranquille, ses deux surfaces a et b se trouvent être dans le même plan horizontal. Un large vase à la place de l'une des branches du tuyau produit le même effet; les hauteurs des surfaces a et b sont toujours égales.

Mr. de T. C'est ce qu'on nomme être au même niveau.

Mr. de P. Et c'est sur ce principe qu'on a construit un instrument nommé *niveau d'eau*, dont on se sert pour déterminer une ligne horizontale. BD est un tuyau long d'environ 3 pieds (fig. 2) et qui est de ferblanc. AB et ED sont deux gros tuyaux de verre placés à angles droits sur le tuyau BD au moyen du quel ils communiquent ensemble. On verse de l'eau dans ces tuyaux, dont la surface en a et en a est dans le même plan horizontal aa. On adapte aux tuyaux AB et DE deux mires qui servent à viser selon la ligne

a a; ce qui décide si un point quelconque éloigné se trouve dans le même horizon que la ligne a a ou s'il se trouve au dessus ou au dessous. En marquant le point de mire au moyen d'un jalon (bâton divisé en pieds, pouces et lignes) on voit de combien ce point de mire se trouve au dessus de la terre et par conséquent l'abaissement de ce point de la terre au dessous de celui de l'instrument. Cette opération, qu'on répète à plusieurs stations est ce qu'on appelle *niveler*.

Mr. de T. J'ai vu une autre espèce de niveau beaucoup plus court, avec une bulle d'air.

Mr. de P. C'est celui qu'on nomme *niveau d'air.* C'est un tuyau de verre fermé hermétiquement par les deux bouts et dans le quel on a versé de l'eau ou de l'esprit de vin affoibli, mais pas assés pour le remplir tout-à-fait. Il reste une bulle d'air qui, lorsqu'on place l'instrument dans la position horizontale, s'arrête au milieu du tuyau, et qui s'échappe aussi tôt vers le bout qu'on soulève tant soit peu. AB (fig. 3) est une enveloppe de laiton, platte par en bas pour poser l'instrument sur une table; elle renferme le tuyan de verre que l'on voit en ab où l'enveloppe est enlevée; c est la bulle d'air, dont la position pour la situation horizontale du niveau est indiquée par deux traits gravés sur le verre. Cette dernière espèce de niveau est susceptible d'une grande sensibilité et d'une extrême exactitude lorsqu'on sait l'ajuster avec précaution.

Mr. de L. Je vois que ma femme pétille d'apprendre tous les détails de cet ajustement et toutes les précautions nécessaires pour lui donner cette extrême

sensibilité qui apparemment ne sera pas moindre que celle de votre balance.

Mr. de P. Il y de l'esprit dans cette malice, Général, puisqu'elle ne porte pas moins sur moi que sur Madame *de L.*, et qu'il y auroit beaucoup à dire sur ce sujet, mais pas assez de finesse cependant pour me faire donner dans le piège. Retournons à notre première figure et examinous le poids des deux portions d'eau contenues dans les branches du tuyau. Il est évident que, si nous imaginons un plan vertical cd par le point le plus bas de ces tuyaux, ce plan partagera toute la masse d'eau en deux colonnes qui se font mutuellement équilibre, puisque, pesant l'une contre l'autre, elles restent en repos.

Supposez à présent une plaque mince quelconque ee, placée entre ces deux colonnes d'eau ensorte qu'elle les sépare complettement, il s'en suit que cette plaque sera pressée avec la même force de part et d'autres par les colonnes d'eau, quoique les masses contenues dans les deux branches soient très différentes l'une de l'autre, celle de la branche ac ayant un poids peut-être dix fois plus grand que celui de la branche bc; et nous tirons de là le théorème: que deux colonnes d'eau, de même base ec ou de bases égales et de même hauteur ed ou cd, exercent une pression égale, quelque différente que puisse être la masse d'eau employée dans l'une des deux pressions.

Mr. de T. Je dois me rendre à la preuve de ce théorème, mais en a-t-on fait l'expérience sur des colonnes d'eau vraiment séparées?

Mr. de P. Assurément, et dans tous les cours de

Physique où l'on ne dédaigne pas de prouver par des expériences ce que les Mathématiques démontrent d'avance, on se sert pour cet effet d'un cône a, d'un cylindre b et d'un autre cône c (fig. 4) dont les bases et les hauteurs sont égales; on adapte successivement à chaque base un piston mobile suspendu par son milieu à une balance qu'on charge de poids de l'autre côté pour faire équilibre à la pression de l'eau contre le piston, et l'expérience prouve que la pression est, pour tous les trois, égale au poids de l'eau contenue dans le cylindre.

Mr. de T. Mais que devient le poids du surplus de l'eau contenue dans le grand cône a? Car si on imagine le cylindre b placé dans le cône, la portion cylindrique d'eau suffira déjà à la pression et je ne puis imaginer que tout le reste de l'eau perde sa pesanteur par les parois inclinées du vase.

Mr. de P. Assurément. Mais si vous considérez le petit cône c, votre embarras augmentera. Dans le cône a vous aviez un excès de force; dans celui-ci vous avez un manque de force sensible; car le cône c peut ne contenir que la moitié de l'eau que le cylindre contient, et cette moitié exerce la même force que le tout.

Le Comte C. Voilà une grande difficulté. Comment peut-on la résoudre?

Mr. de P. Je dois vous laisser encore quelques jours dans l'embarras.

Mr. de L. Vous verrez, Monsieur le Comte, que ce sera le grand sorcier de la Mécanique, le théorème

du parallèlogramme des forces, qui lèvera la difficulté. Moi, je n'en suis pas embarrassé.

Mr. de P. Cette fois-ci ce ne sera pas le grand sorcier, mais une petite magicienne. En attendant voyez cette figure que je dessine (fi. 5); elle représente une vase cylindrique a de peu de hauteur, avec le fond du quel communique le tube b d. Remplissez de mercure le vase a ; la liqueur entrera dans le tube jusqu'à la hauteur c du vase. Puis fermez l'ouverture e h du vase avec une vescie mouillée bien ficelée sur les bords du vase, placez ensuite sur le vase un poids considérable qui couvre tout son orifice, et versez du mercure dans le tube jusqu'à la hauteur d. Comme la colonne de mercure dans le vase et celle du tube jusqu'en c se font équilibre, il est clair que nous aurons un surcroit de pression dû à la colonne *de mercure* c d. Eh bien! cette petite colonne de mercure soulèvera le poids que nous avons placé sur la vescie; car elle fait un effort égal à celui que feroit une colonne de mercure e f g h de même hauteur et qui auroit l'orifice du vase pour base.

Le jeune L. Je le conçois; car si le vase avoit toute la hauteur du tube, il est certain que nous aurions le cas du tuyau recourbé et parconséquent équilibre entre les deux colonnes de mercure.

Mr. de T. Moi je *dois* le concevoir, car je ne conçois pas encore le phénomène de la pression dans le cylindre et dans les deux cônes.

Mr. de P. Je suis fâché d'être forcé de vous faire attendre l'explication; car si je vous la donnois à présent, vous n'y croiriez pas. Pour nous distraire calculons le poids que la mince colonne de mercure c d

peut soulever. Supposons le diamètre du tube être de deux lignes et celui du vase égal à 30 lignes. Nous avons 2 à 30 ou 1 à 15 pour le rapport des diamètres; or comme les bases sont dans le rapport du carré des diamètres, celui des bases sera 1 à 225. Ainsi une livre de mercure dans le tube, placée au dessus de c fera équilibre à 225 livres placées sur a h. Si nous donnons à la hauteur d c 9¼ pouces, la portion de mercure contenue dans la colonne d c pèsera à très peu près une once, et le poids qu'on pourra soulever en a h sera de 225 onces ou d'environ 14 livres.

Le Comte C. Voila l'effet du levier.

Mr. de T. Et de quel levier! Qui a jamais exécuté un levier dont un bras soit 225 fois aussi long que l'autre? Et cette petite machine est concentrée dans un espace de 3 pouces de diamètre et de 10 pouces de hauteur!

Mr. de P. Vous avez bien raison, Monsieur *de T.*, d'appeler cet appareil une machine, car il faut peu de chose pour en faire une machine très puissante. Donnez au vase cylindrique un peu plus de hauteur et placez y un piston qui ferme bien. Au lieu du mercure mettez simplement de l'eau dans l'appareil et changez le tube de verre b d en un tuyau de laiton dans le quel vous introduirez également un piston, et pressez à présent ce petit piston de toute votre force; le grand piston montera avec une force énorme. Car si vous donnez au petit piston ½ pouce de diamètre et au grand 8 pouces, vous aurez 1 à 16 pour rapport des diamètres et 1 à 256 pour celui des carrés des diamètres. Ainsi en pressant sur le petit piston avec une force d'une

livre vous exercerez une action de 256 livres, et comme un homme peut pour quelques intans presser avec une force de 100 livres et plus, il est clair qu'il soulèvera un poids, ou vaincra une résistance de 25600 livres. En Angleterre on a exécuté, sur ce principe une *presse hydraulique* dont on se sert surtout pour réduire les ballots de marchandises à un très petit volume ce qui est très utile pour le transport par mer, le grand volume de certaines marchandises comme la laine, le coton, les papiers, &c. prenant beaucoup de place, dans les vaisseaux.

Mr. de T. A la vue d'une pareille machine on est presque tenté de croire qu'ici l'effet surpasse la force.

Mr. de P. Pas plus que dans une machine ordinaire. Car, dans la proportion admise des carrés des diamètres, lorsque le grand piston, ou la charge, a fait une ligne de chemin, le petit en doit avoir fait 256 pour que l'espace que le grand piston a quitté se remplisse d'eau.

Mr. de T. Comment n'ai-je pas pensé à cela? Mais en ce cas notre machine devra avoir un tuyau bien long.

Mr. de P. Pour éviter cette longueur on remplace ce tuyau et son piston par une petite pompe foulante qui, à chaque coup de piston, amène de l'eau dans la machine, et la somme de tous les petits chemins que fera le piston équivaudra à 256 lignes pour faire avancer le grand piston d'une ligne, et pour cet effet il faudra plus de 4 coups de piston si le chemin du petit pistons est de 5 pouces. Et ajoutez à cela que le piston doit faire son chemin deux fois à chaque coup, l'une

en avant pour comprimer et l'autre en arrière pour amener de l'eau dans l'appareil. Au reste ce second chemin n'exige qu'une très petite force, que l'on peut négliger en comparaison du grand avantage de cette espèce de presse, qui, quant à l'énergie, se compare à la vis sans fin.

Nous voyons dans notre expérience avec la colonne de mercure une colonne de fluide exercer une pression de bas en haut contre le poids placé en eh. Une pression semblable s'exerce également de chaque côté et nous pouvons dire *que les fluides pressent en tout sens.* Car si l'on fait un trou latéral dans un vase plein d'eau, l'eau s'écoulera par ce trou et pour l'en empêcher il faut une force égale au poids d'une colonne d'eau, dont la base seroit l'ouverture faite dans le vase et la hauteur la distance du milieu du trou jusqu'au niveau du liquide. Si nous pratiquons cette ouverture dans le côté du vase de l'appareil, la hauteur de la colonne du liquide sera la perpendiculaire depuis le centre de l'ouverture jusq'uau niveau fd.

Mr. de T. Ce théorème, qui ne m'est pas inconnu, me paroit incompréhensible.

Mr. de P. Aussi ne peut-il pas se démontrer à l'aide de la gravitation seule, dont la direction naturelle n'est jamais que la verticale. Et si nous voulions considérer l'eau comme un amas de petites boules placées les unes sur les autres comme des boulets de canon, on trouveroit, il est vrai, qu'il en résulte une force qui agit latéralement ou en direction horizontale, mais cette force, déterminée par le théorème du parallélogramme des forces et appliquée au triangle équiangle, ne

seroit pas tout-à-fait $\frac{11}{25}$ de la force réelle que les fluides exercent latéralement, et en outre il seroit absolument imposible d'expliquer par là la pression de bas en haut. Cette pression en tout sens, que l'expérience nous offre si clairement, nous force de proportionner la force des vases et des tuyaux qui contiennent des colonnes de liquides à la hauteur de la colonne et au diamètre des tuyaux et des vases, de même celles des digues, qui au reste ne dépend pas de la longueur de la masse d'eau à contenir, mais de sa profondeur.

Mr. de T. Si cette pression en tout sens ne s'opère pas par la pesanteur, qu'arrivera-t-il si nous versons dans notre tuyau courbé (fig. 1) deux liqueurs de différente pesanteur spécifique?

Mr. de P. Voyons. Versons d'abord du côté bc une portion de mercure qui se mettra au fond du tuyau en niveau avec lui-même; puis versons du côté a de l'eau. Le mercure pressé par l'eau baissera de ce côté et montera de l'autre. Supposons que, l'eau occupant l'espace de h en g, le mercure soit monté jusqu'en f, et prolongeons le plan horizontal de la surface du mercure en h jusqu'en i de l'autre côté, il est clair que la portion de mercure au dessous de hi sera en équilibre avec elle-même et nous aurons la colonne en sus if, qui fera équilibre à la colonne d'eau gh. Et si on mesure les hauteurs verticales gh et fi, on les trouve dans le rapport de $13\frac{1}{3}$ à 1, ce qui est le rapport de la pesanteur spécifique du mercure à celle de l'eau.

Mr. de T. Ainsi donc c'est le poids des fluides qui cause la pression!

Mr. de P. La pression verticale, oui; mais la

pression de bas en haut et la pression latérale, qui proviennent, il est vrai, du poids des colonnes du fluide, supposent une force intermédiaire que nous découvrirons par la suite. Mais passons à un nouveau phénomène.

Ce que je dessine est une vase plein d'eau (fig. 6). Imaginez un petit cylindre ab de matière solide plongé dans cette eau et concevez une colonne d'eau recourbée faedg, de même diamètre que le cylindre et dans la quelle ce corps se trouve, dont il fasse en quelque sorte partie. Il est clair que ce corps prendra la place d'une portion d'eau d'égal volume.

Mde. de L. Moi j'en suis bien persuadée; car vous m'avez démontré bien clairement et à mes propres dépens que deux corps ne peuvent pas occuper le même espace.

Mr. de P. La preuve, madame, étoit pour nous tous et vous avez le mérite de vous être sacrifiée au plaisir de nous la faire trouver.

Mde. de L. Passons sur ce mérite équivoque, dont je ne veux pas me glorifier.

Mr. de P. Si le corps ab n'étoit pas là, il est clair que les deux branches de cette double colonne d'eau se feroient mutuellement équilibre. Prenons à présent dans l'autre branche un volume d'eau cd égal au volume de notre cylindre, alors nous aurons de chaque côté une pression composée de trois élémens. Du côté gauche nous avons la colonne d'eau fa, le cylindre solide ab et la colonne d'eau be; du côté droit

la colonne d'eau gd, le cylindre d'eau cd et la colonne ce, et il est clair que, comme il y a égalité de pression de la part de fa et be d'un côté et de gd et ce de l'autre, nous aurions un équilibre complet si le cylindre solide ab et le cylindre d'eau cd étoient de même poids.

Le jeune de L. A quoi cela ménera-t-il? Je ne vois pas le but de cette analyse.

Mr. de G. Il me semble en effet, mon cher P., que voilà une longue et difficile analyse pour une chose si simple. Cela rapelle l'omelette fameuse du Poëte Des-Barreaux et le mot que le dépit de ne pas oser la manger lui arracha.

Mr. de P. Comme ma conscience est plus tranquille que celle de Des-Barreaux, je vais, mon cher, vous faire avaler mon omelette, persuadé que vous la trouverez très bonne.

Imaginez notre cylindre suspendu par un cheveu à un fléau de balance; s'il pèse autant que le cylindre d'eau cd, il ne pèsera donc pas sur la balance, et nous apprenons par là que ce corps a perdu tout son poids en plongeant dans l'eau; et nous disons qu'un corps qui, plongé dans l'eau, ne pèse ni en plus ni en moins sur la balance, pèse autant qu'une masse d'eau de même volume ou que la masse d'eau qu'il déplace.

Mr. de G. Je crois déja deviner un peu où vous voulez nous mener.

Mr. de P. A présent supposez que notre cylindre soit plus pesant que le cylindre d'eau cd, il pésera sur la balance et il faudra un contrepoids pour le supporter. Mais

ce contrepoids ne sera pas égal au poids absolu de ce corps, puis qu'il manque à sa place dans la colonne d'eau fae un cylindre d'eau de même volume. Le contrepoids sera donc égal au poids absolu du corps moins le poids du cylindre d'eau cd. Supposons le poids absolu égal à 5 onces, er qu'il faille un contrepoids de 2 onces pour établir l'équilibre, le corps étant dans l'eau, il est clair que nous apprenons par là que le poids d'une masse d'eau de volume égal à celui de notre corps est égal à 3 onces; c. à. d. que nous connoissons par là le rapport de la pesanteur spécifique du corps à celle de l'eau, et comme nous pouvons répéter cette expérience avec tous les solides plus pesants que l'eau, et cela sans avoir égard à leur figure, il est clair que nous trouvons ainsi la *pesanteur spécifique* et par conséquent la densité de ces corps en prenant celle de l'eau pour unité.

Mr. de G. J'avoue que l'omelette est fort bonne.

Mr. de P. Attendez: ce n'est que la première bouchée. Si notre cylindre est plus léger que le cylindre d'eau qu'il déplace supposez le fixé à un fil de fer mince au moyen du quel on puisse l'enfoncer dans l'eau; alors il faudra mettre dans le plateau de balance au quel il est fixé un poids qui le force à plonger, et ce poids devra être exactement égal à l'excédent de poids du cylindre d'eau sur le cylindre solide. Supposons donc que le poids du corps soit de 3 onces et qu'il faille y ajouter 2 onces pour le faire plonger, il est clair que le poids de la masse d'eau déplacée par le corps sera de 5 onces, et nous aurons 3 à 5 pour la proportion des pesanteurs spécifiques du corps et de l'eau.

Ainsi nous avons un moyen de déterminer la pesanteur spécifique des solides, et l'appareil dont nous nous sommes servis en idée, c. à. d. une bonne balance, aux bassins des quels on puisse suspendre des corps, et puis un vase plein d'eau, c'est ce qu'on appelle la *balance hydrostatique.*

Mr. de T. Je prends beaucoup de goût à l'omelette de Monsieur *de G.*, et je vous prie de nous expliquer comment se fait le calcul des pesanteurs spécifiques.

Mr. de P. Volontiers, d'autant plus que c'est mon devoir. Les pesanteurs spécifiques des corps sont, comme vous savez, les proportions des pesanteurs absolues de différents corps de même volume.. Pour exprimer ces proportions il nous faut une unité que nous puissions considérer comme invariable, et cette unité n'est pas facile à trouver, parce les corps que nous rangeons sous la même espèce sont souvent d'individu à individu très différents les uns des autres. Le fer par ex., les autres métaux, les bois de chaque espèce, les pierres de même nom &c. ne peuvent point servir ici, parce qu'un pouce cube de ces matières se trouve rarement égal en poids à un autre pouce cube de la même espèce. L'eau ordinaire varie de même, par ce qu'elle n'est jamais pure. Mais l'eau dégagée par la distillation de toutes les matières étraugères, peut nous servir ici d'unité et a été adoptée pour cet effet, parce que chaque Physicien peut se la procurer d'égale pureté et à peu de frais.

Le Comte C. Mais l'eau distillée contient encore

de l'air, et à différentes températures elle a différents dégrés de dilatation.

Mr. de P. Assurément; mais l'air contenu dans l'eau distillée l'est de règle à quantités égales et notre but n'est pas précisemeut d'avoir une eau absolument pure, mais de densité égale; et quant à la température, on en tient compte; c'est-à-dire qu'on fait de règle ces opérations à une température moyenne fixe, et lorsque cela ne peut pas avoir lieu on corrige le résultat pour la différence de température, quand on veut obtenir la dernière exactitude.

Ayant une fois notre unité, et en nommant 1 la pesanteur spécifique de l'eau, celle de toutes les autres subtances sera ou plus grande ou plus petite.

Mr. de G. Il y a encore un troisième cas, celui de l'égalité.

Mr. de P. Ce cas n'est que possible et ne nous embarasseroit certainement pas. Mais on a fait la singulière observation que de toutes matières connues il n'y en a pas une seule qui ait la même pesanteur spécifique que l'eau, et vraisemblablement pas deux qui à cet égard soient égales entre elles. Le Comte Rumford s'est en vain donné beaucoup de peine pour trouver une matière qui nage entre deux eaux, c. à. d. qui se soutienne elle-même dans l'eau à toutes les profondeurs sans descendre ni monter. Et comme il en avoit absolument besoin pour une certaine expérience, il prit de petits morceaux d'ambre qui sont de quelque peu plus pesants que l'eau et augmenta la pesanteur spécifique de l'eau en y mettant un peu de sel.

Mr. de R. Voilà une nouvelle preuve de la variété infinie de la Nature dans ses productions.

Mr. de P. Nous trouvons cette variété sans bornes sur tout dans les masses, grandes ou petites, qui composent l'écorce de notre globe. Mais arrivons à votre calcul, et prenons d'abord pour exemple les trois expériences que nous avons faites avec la balance hydrostatique.

Le premier cas fut celui où le corps pesé dans l'eau perdit tout son poids, ce qui nous instruisit qu'il pesoit dans l'air précisément autant que le volume d'eau qu'il déplaçoit.

Ainsi nous nommerons sa pesanteur spécifique 1.

Le second cas fut celui où, le poids absolu du corps étant de 5 onces, celui de l'eau déplacée ou de même volume étoit de 3 onces. Nous divisons 5 onces par 3 et nous disons: la pesanteur spécifique de ce corps est $1\frac{2}{3}$.

Le troisième cas fut celui où, le poids absolu du corps étant de 3 onces, celui de l'eau déplacée étoit de 5 onces. Nous divisons 3 onces par 5 et nous disons: la pesanteur spécifique de ce corps est $\frac{3}{5}$, toujours dans la supposition que celle de l'eau est 1.

Nous avons des tables des pesanteurs spécifiques pour presque tous les corps connus, qui servent dans les arts, dans la Physique et dans la Chimie. Le Platine, le plus dense de tous les corps connus, l'est en nombre rond 21 fois autant que l'eau distillée, l'eau distillée 773 fois autant que l'air atmosphérique à la surface de la terre, et l'air atmosphérique 13 fois au-t que le gaz hydrogène; et par conséquent le Plati-

ne plus de 211000 fois autant que le gaz hydrogène; et comme nous pouvons facilement raréfier ce gaz comme tous les autres, sous la cloche de la pompe pneumatique jusqu'à $\frac{1}{336}$ de sa densité, il s'ensuit que les extrêmes de densité des corps, bien avérés, sont exprimés par le rapport de 1 à 70·896000.

Mr. de R. Quelle variété prodigieuse!

Mr. de G. Il me semble qu'on doit retrancher ici l'action de la pompe pneumatique; car c'est le Physicien et non pas la Nature qui produit cette dilatation.

Mr. de P. Je ne vous fais pas grace de la plus petite unité; au contraire je dois vous dire, et nous verrons cela plus amplement, quand nous nous occuperons de la Physique de notre atmosphère, que la Nature sait raréfier l'air non seulement aussi bien que la pompe pneumatique, mais encore au moins 5 fois davantage.

Au reste ne nous imaginons pas qu'il existe pour tous les nombres entre 1 et 211000 des corps dont la densité se rapporte à tous ces nombres. Il existe une grande lacune dans cette série. Tous les métaux et toutes les pierres, le diamant et les verres y compris, sont plus pesants que l'eau (la pierre ponce et l'amiante exceptés, qui sont tant soit peu plus légers) et qui remplissent assez bien la série des nombres entre 1 et 21. La pesanteur spécifique des bois meuble également bien la série entre $\frac{1}{4}$ et $1\frac{2}{3}$, les liquides (le mercure excepté dont la pes: spécifique est $13\frac{1}{2}$) entre $\frac{7}{10}$ et $2\frac{1}{7}$. Mais depuis la pétréole qui a $\frac{7}{10}$, jusqu'au gaz acide muriatique oxigéné, qui est presque $2\frac{1}{2}$ fois aussi dense que l'air atmosphérique et sa pésanteur spécifique $\frac{1}{310}$,

nous avons un vuide complet dans notre série, tandis que la série suivante se remplit très bien par le grand nombre de gaz que nous connoissons.

Le Comte C. Cette grande lacune dans la série des densités, entre $\frac{7}{10}$ et $\frac{1}{310}$, qui se trouve entre les liquides et les fluides élastiques, six fois aussi grande que la somme de toutes les séries remplies, est d'une grande importance et me paroît prouver que la Nature a voulu indiquer par là une différence essentielle entre les fluides gazeux et les fluides liquides.

Mr. de P. Votre remarque, Monsieur le Comte est neuve et juste. Il est certain que la Nature n'a fait un pareil saut dans la série des densités que par de bonnes raisons, dont le principe se découvre dans l'énorme expansibilité des gaz. — Mais retournons aux moyens de déterminer les pesanteurs spécifiques.

Mr. de G. Encore de l'omelette?

Mr. de P. Oui mon cher ami; c'est votre plat favori et je prétends vous en servir avec largesse.

Nous ne nous sommes pas encore occupés de la pesanteur spécifique des liquides. La balance hydrostatique nous y conduit. Prenez un corps solide quelconque, par ex: de verre, qui ne s'imbibe d'aucun liquide et n'en peut pas être dissout; pesez le dans l'air et ensuite dans l'eau distillée; la différence des poids, ou la perte, indiquera le poids de l'eau déplacée. Pesez ensuite le même corps dans le liquide dont vous voulez déterminer la pesanteur spécifique; vous aurez une autre perte en poids, c. à. d. le poids du nouveau liquide déplacé par le même corps, et cette proportion des

pertes donnera d'abord celle des densités des deux fluides. Supposons que la perte pour l'eau distillée soit de 500 grains, celle pour l'autre liquide de 800 grains, le quotient de 800 divisé par 500 ou $1\frac{3}{5}$ sera la pesanteur spécifique du liquide.

Mr. de T. C'est ici, je crois, le moment de parler des aréomètres, et si Madame de L. ne s'y oppose pas, je vous prierois, Monsieur *de P.*, de vouloir bien nous en donner la théorie.

Mde. de L. Bien loin de m'y opposer je me joins à vous, Mr. *de T.*, et je vous prie de ne pas prendre mon silence pour manque d'intérêt pour cet objet. Il m'est tout-à-fait neuf et ne se prête par conséquent pas à des questions de ma part. Je m'instruis en silence et avec plaisir.

Mr. de P. Nous avons deux espèces d'aréomètres, l'une au moyen de la quelle nous trouvons la pesanteur spécifique d'une liqueur en mesurant le volume qu'un corps placé dans le liquide occupe, et c'est à celle-là que convient proprement le nom d'aréomètre, qui signifie mesure du volume. L'autre espèce nous indique la pesanteur spécifique des liqueurs par le poids nécessaire pour enfoncer un corps plus léger que le liquide jusqu'à une certaine profondeur.

Ce que je dessine (fig. 7) est un tube ab de verre renflé au bout inférieur en forme de poire A, au bas de la quelle se trouve une petite boule creuse B, qu'on leste d'un peu de mercure, afin que l'instrument, placé dans un liquide, s'y tienne de bout. Le tube est muni d'une division ou échelle sur toute sa longueur, qui sert à déterminer les degrés d'enfoncement. Suppo-

sons que l'instrument soit lesté de sorte que dans l'eau distillée il plonge jusqu'en c et que dans une autre liqueur, par ex. de l'eau de vie, il plonge jusqu'en d; il est clair que le rapport des volumes de l'instrument donnera le rapport inverse des pesanteurs spécifiques des deux liquides. Si ce rapport est de 10 à 8, il est clair que la pesanteur spécifique de l'eau de vie sera $\frac{8}{10}$. Si l'instrument ne plonge que jusques en e, par ex. dans de l'eau salée, et que le rapport des volumes soit de 10 à 11, il est clair que la pesanteur spécifique de l'eau salée sera $1\frac{1}{10}$. La difficulté est de faire l'échelle en sorte que les nombres qui y sont écrits indiquent sur le champ et sans calcul ce rapport des volumes. On a différentes méthodes à cet effet, dont la description ne pourroit que vous ennuier. La plus commode de toutes est celle qui indique immédiatement les pour cent.

Cet instrument étoit déjà en usage en Allemagne dans le 15e siècle et servoit à déterminer la qualité des eaux salées dans les salines, et dans le 16e siécle celle des eaux de vie et de la bière. Au reste il est important de savoir que la pesanteur spécifique d'un mélange par ex: d'eau et de sel ou d'esprit de vin ne suit pas exactement celle du mélange, et que, pour juger au juste de la proportion du mélange par la densité plus ou moins grande, il faut avoir des tables de degré en degré où pour une pesanteur spécifique donnée se trouve la proportion du mélange.

Mr. de R. Cet instrument me paroit bien commode, surtout avec l'échelle des pour cent qui exempte de tout calcul.

Mr. de P. Assurément et la seconde espèce

d'aréomètre n'a pas cet avantage, mais elle à celui d'une bien plus grande exactitude. Le corps de l'instrument est ce cylindre creux A (fig. 8), au haut du quel est un fil de laiton a e qui porte un petit plateau B sur lequel on place des poids i. On leste l'instrument en y jettant quelques grains de plomb qu'on peut fixer au fond b au moyen d'un peu de suif qu'on y fait fondre. On ajuste l'instrument en sorte que lorsqu'on le plonge dans l'eau distillée, chargé d'un certain poids, il s'enfonce jusqu'à un certain *point normal* c du fil de laiton.

Il est évident que le poids de l'instrument même et le poids i placé en B sont ensemble égaux au poids de l'eau que l'instrument déplace lorsqu'il plonge jusqu'en c. Dans une autre liqueur tant soit peu différente de l'eau distillée l'instrument sera forcé de monter ou de descendre, et l'on obtiendra l'immersion normale en augmentant ou en diminuant le poids i; et comme le fil de laiton est très mince comparé au corps A de l'instrument, il est clair qu'on peut observer et fixer des différences extrèmement petites. Je possède un instrument de ce genre qui indique un cinquante millième de différence, tandis que les meilleurs aréomètres à échelle n'atteignent tout au plus qu'à un deux centième.

Le Comte C. Il faut avouer qu'une pareille différence d'exactitude vaut bien la peine de faire un petit calcul.

Mr. de P. Et ce calcul est assez simple, supposons que le poids de l'instrument seul soit de 10000 grains et le poids i de 2000; le poids total, qui représente celui de l'eau distillée, sera de 12,000. Si pour

faire plonger l'instrument dans une autre liqueur il faut ajouter 10 grains, alors le poids de cette liqueur sera représenté par 12010 grains et sa pesanteur spécifique sera le quotient de 12010 divisé par 12000, c. à. d. $1\frac{1}{1200}$.

Si pour produire l'immersion normale il eut fallu diminuer le poids i de $\frac{1}{2}$ de grain, alors nous aurions pour poids de la liqueur déplacée $11999\frac{1}{2}$ grains et le quotient de $11999\frac{1}{2}$ divisé par 12000, c. à. d. la fraction $\frac{23999}{24000}$, seroit la pesanteur spécifique de notre liqueur qui, comme on voit, ne différeroit de l'eau distillée que d'un vingt quatre millième.

Mr. de R. Honneur et gloire à cet aréometre!

Mr. de P. Et à son inventeur Fahrenheit, qui fit présent de ce bel instrument à la Physique dans les premières années du dix huitième siècle. Un François et un Anglois, le Cristallographe Haüy et le Physicien Nicholson, ont encore renchéri sur la première invention en rendant cet instrument susceptible de fixer la pesanteur spécifique des corps solides plus pesants que l'eau et votre Professeur a encore étendu cet usage aux corps plus légers que l'eau.

Pour cet effet on adapte au bas de l'instrument un arc d de laiton et à cet arc une petite jatte C dans la quelle on peut placer le corps à peser. Mais comme les corps plus légers que l'eau ne resteroient pas dans la jatte, celle-ci peut se mouvoir sur deux pivots pour être placée dans une situation renversée et retenir le corps léger. Pour laisser échapper l'air, la petite jatte a un trou à son milieu.

L'opération se fait de la manière suivante: On ôte le poids i de son plateau et on met à sa place le

corps en question, qui au reste ne doit peser au plus qu'autant que le poids i, que nous supposons toujours être de 2000 grains. S'il pèse moins on ajoute des poids jusqu'à ce que l'instrument plonge jusqu'au point normal c. Supposons que nous ayons ajouté 500 grains, il est clair que nous apprenons par là que le corps pèse 1500 grains.

Mr. de R. Voilà une balance toute faite! Quelle belle idée!

Mr. de P. En effet, et l'on a même proposé de faire de pareilles balances pour l'usage ordinaire, qui au reste seroient bien incommodes, et à quelques égards peu sures. A présent ôtons le corps du plateau B et plaçons le dans la jatte C. Il est clair que la perte de poids qu'il éprouvera fera monter l'instrument, et qu'il faudra mettre de nouveaux poids sur le plateau pour le faire replonger jusqu'en c. Supposons que cette addition de poids soit de 300 grains, il est clair que la perte de poids du corps ou le poids de l'eau distillée qu'il déplace est de 300 grains. Ainsi la pesanteur spécifique du corps sera le quotient de 1500 par 300, c. à. d: 5.

Nous avons encore une espèce d'aréomètre pour les liqueurs, l'aréomètre à vase. C'est un vase de verre à col étroit qu'on remplit d'abord d'eau distillée et dont on marque le poids, de même que la tare, sur le vase. Si on le remplit d'une autre liqueur, la balance en indiquera le poids, ce qui nous fournit la proportion des poids et parconséquent la pesanteur spécifique. Cet instrument si simple est de l'invention du Chimiste Homberg et a été perfectionné par Has-

senfratz qui a donné à son ouverture un bouchon de verre percé sur sa longueur d'un trou ou tuyau très fin. Lorsqu'on place ce bouchon sur l'orifice plein de la liqueur, le surplus s'écoule par ce petit tube et l'emplissage du vase ne peut varier que d'une très petite quantité à raison du diamétre très étroit du tube. Cet instrument a l'avantage de pouvoir être construit sur de petites dimensions, en sorte qu'on peut déterminer la pesanteur spécifique de liqueurs dont on n'a qu'une petite quantité, ce qui arrive souvent. Si par ex. le vase ne contient que 500 grains d'eau distillée, on peut fixer la pesanteur spécifique d'une autre liqueur jusqu'à environ $\frac{1}{1000}$; exactitude qui surpasse celle des aréomètres à échelle. Les autres aréomètres et la balance hydrostatique exigent de beaucoup plus grandes quantités de la liqueur à examiner.

Nous tirons de tout ce que nous avons dit sur l'aréométrie le résumé général suivant: On trouve de toutes les manières la pesanteur spécifique des corps en divisant leur poids absolu par la perte qu'ils éprouvent lorsqu'on les plonge dans l'eau distillée. Si le corps est plus pesant que l'eau, alors ce quotient est un nombre, ou entier ou affecté d'une fraction; s'il est plus léger, ce quotient est une fraction.

à la page 30.

Table des pesanteurs spécifiques.

Remarque. L'unité pour les nombres et fractions de cette table est le poids d'un volume quelconque d'eau distillée. Pour les autres corps les chiffres à gauche de la virgule expriment les nombres entiers et les chiffres à droite les fractions décimales du poids de ces corps d'un volume égal au volume supposé de l'eau. On réduit ces fractions en fractions ordinaires en donnant à ces trois chiffres le nombre 1000 pour dénominateur.

Métaux.

Platine	20,722
Or	19,258
Mercure	13,586
Cuivre	8,895
Laiton	8,395
Fer forgé	7,833
Acier	7,767
Fer fondu	7,207
Etain	7,264
Zinc	6,862
Sodium	0,972
Potassium	0,865

Bois du tronc de differens arbres.

Chêne	1,666
Guajac	1,333
Ebène	1,209
Acajou	1,603
Hêtre	0,852
Tilleul	0,604
Sapin	0,550
Peuplier	0,383
Liège	0,240

Substances animales.

Os de mouton	2,222
Ivoire	1,825
Os de boeuf	1,656

Autres corps inflammables.

Diamant	3,522	jusqu'à	3,654
Soufre	2,033		
Phosphore	1,910		
Charbon de terre	1,270	—	1,500
Ambre	1,065	—	1,110
Cire blanche	0,954	—	0,966
Suif	0,943	—	0,955
Huile d'olive	0,913		
Huile de thérébentine	0,792		
Alkohol (absolu)	0,791		
Ether sulphurique	0,716		
Pétréole	0,708		

Pierres et verres.

Spath pesant	4,990	jusqu'à	5,800
Rubis oriental	4,283		
Flintglas	3,329		
Verre blanc	2,400	—	2,988
Verre verd ordinaire . .	2,300		
Basalt	2,864	—	3,000
Porphyre	2,765	—	2,793
Marbre et pierre à chaux	2,716	—	2,837
Cristal de roche	2,653		
Pierre à fusil	2,594		
Granit	2,538		
Terre de potier	1,800		
Pierre ponce	0,914		

Gas

à la température de la glace fondante et à une pression barométrique de 28 pouces de France. L'unité est la pesanteur spécifique de l'air atmosphérique. On donne aux quatre chiffres à droite de la virgule le nombre 10000 pour dénominateur.

Air atmosphérique . . .	1,0000	Gas oxigène	1,1036
Gas acide carbonique .	1,5196	Gas azote	0,9691
Gas acide muriatique .	1,2474	Gas amoniaque . . .	0,5967
Gas hydrogène	0,0732		

Vapeurs

de différents liquides à la température où ces liquides bouillent sous une pression barométrique de 28 p.

Vapeur d'eau	0,6235
Vapeur d'alkohol absolu	1,6133
Vapeur d'éther sulphurique	2,5860.

Dixhuitième entretien.

Mr. *de P.* Je vous ai parlé il y a quelque temps du centre de gravité et les applications que nous en avons faites ne vous auront pas paru de grande importance, d'autant plus que nous en avons fait plusieurs presque sans les nommer. Plaçons aujourd'hui cette théorie sur le trône de la Marine en l'appliquant à la construction des vaisseaux. Toute la partie de cette construction qui a l'équilibre et la stabilité des vaisseaux pour but, s'appuie sur une juste connoissance du centre de gravité. Considérez un vaisseau de guerre de cent canons. Son grand mât s'élève à 250 pieds au dessus du niveau de la mer et semble devoir le submerger à la moindre inclinaison. Point du tout. On l'arme d'énormes voiles jusqu'à sa cime pour bien donner prise à tous les vents à qui le marin commande de faire voguer sa forteresse flottante dans la direction qu'il leur prescrit. Le vent s'irrite contre cet ordre, s'emporte, devient impétueux, veut plonger le bâtiment dans les abymes de l'océan. C'est en vain. Le vaisseau panche tantôt à droite tantôt à gauche, mais résiste à la tempête et conserve son àplomb. Son point d'apui est un centre de gravité qui change à tout

instant de place. Sa stabilité réside dans sa mobilité.

Mde. de L. Mais, Monsieur *de P.*, comprendrons nous cela?

Mr. de P. Oui, Madame; car nous nous en tiendrons aux principes, les détails n'étant pas de notre ressort.

Imaginez un corps quelconque, mais homogène dans toute sa masse, par ex. un parallèlipipède de bois flottant sur l'eau. Une partie de son volume se trouvera dans l'eau, l'autre hors de l'eau, et l'eau que le corps déplace pésera exactement autant que le corps entier. Considérez le parallèlipipède abfd que je dessine comme nageant dans l'eau (fig. 9). Nous avons ici deux centres de gravité à considérer, celui du corps lui-même placé au milieu c de ce corps et celui de la masse d'eau déplacée gdfh qui se trouvera également au milieu de cette partie d'eau déplacée. Ces deux centres de gravité peuvent être considérés l'un comme le point où toutes les forces du corps qui tend à tomber se trouvent réunies et l'autre comme celui où toutes les forces de l'eau qui tendent à le soulever se trouvent également réunies, et nous avons par là le cas simple où deux forces se font équilibre. Mais cet équilibre ne peut avoir lieu que sous deux conditions, c. à. d. que les deux forces soient égales et que leurs directions se trouvent opposées précisément dans la même ligne droite. La direction de la force supposée en c, c. à. d. de la pesanteur, est irrévocablement donnée et toujours la même, la verticale. Donc pour le cas de l'équilibre le centre des forces de l'eau qui supportent le corps, ou le point e, doit se trouver dans

la verticale qui passe par le point c. Lorsque cette condition n'est pas remplie, le corps oscille autour du point e qui proprement sert d'apui au corps flottant. Ces oscillations du corps ou de son centre de gravité c, qui se trouve toujours au dessus du centre e de l'eau déplacée, ressemblent à celles de nos petits corps de moelle de sureau qui ont une base de plomb arondie.

Mr. de T. Si la comparaison est juste, il faut que le point e change de place pendant les oscillations comme le point de contact entre la calotte de plomb et la table.

Mr. de P. Aussi cela a-t-il lieu. Supposez qu'une oscillation fasse pancher le corps flottant de sorte que le côté bf plonge davantage; le côté ad plongera moins; la figure dfhg, c. à. d. la coupe verticale de la masse d'eau déplacé, aura du côté b une hauteur hf plus grande que la hauteur gd du côté a. Donc le centre de gravité a ne sera plus au milieu entre gd et hf, mais plus près de hf. Donc le centre de gravité c du corps, point invariable, ne se trouvera pas dans la même verticale que e, mais à gauche. Ce centre ne sera donc plus appuyé et tombera de ce côté, ce qui produit l'oscillation suivante contraire à la première, qui fera que le point d'apui e repassera au côté opposé. Voilà pourquoi je disois qu'un vaisseau tient sa stabilité d'un point d'apui mobile.

Mr. de T. Cette théorie est bien simple et ingénieuse.

Mr. de P. Nous ne la pousserons pas plus loin pour les corps homogènes flottants. Passons vite aux

corps qui ont dans différents points de leur volume des pesanteurs spécifiques différentes les unes des autres.

Supposons que notre corps flottant abfd soit un corps vide très léger, qui n'enfonçat dans l'eau qu'à une profondeur égale à $\frac{1}{10}$ de sa hauteur ad, et qu'on place à son fond df une plaque de pomb qui le force à plonger jusqu'à une profondeur telle que gd soit égale à $\frac{7}{10}$ de sa hauteur gd; le centre de gravité de l'eau déplacée, ou le point d'apui, se trouvera comme auparavant en e à $3\frac{1}{2}$ dixièmes de ad au dessus du fond df. Mais le centre de gravité c du corps se trouvera à une toute autre place, et au dessons de a, et nous aurons parconséquent le même cas que dans la balance (Tome 1 fig. 19) où le point d'apui se trouve au dessus du centre de gravité qu'il supporte. Nous aurons donc des oscillations de même espèce qu'à la balance et qui seront d'autant plus petites que la distance des deux points sera plus grande, avec cette différence néanmoins que pour notre corps flottant le point d'apui e changera de place, d'oscillation en oscillation, comme auparavant et par la même raison.

Mr. de T. Je conçois en outre que plus le centre de gravité c du corps sera abaissé au dessous du point d'apui e, plus le corps sera stable, parce que la même force lui fera faire de plus petites oscillations, comme à la balance.

Mr. de P. Fort bien, et nous voilà en état à présent de trouver les principes de la construction d'un corps de vaisseau quant à sa figure.

Notre problème consiste à déterminer la figure d'un corps creux dont le centre de gravité se trouve

au dessous du centre de gravité de l'eau déplacée et à la plus grande distance possible pour une profondeur du corps donnée. Il est clair qu'un parallelipipède, dont la coupe verticale est un parallélogramme, n'aura pas cette propriété, nos deux centres se trouvant dans cette figure assés rapprochés, et que parconséquent les bâteaux plats n'ont pas une assiette aussi solide que les vaisseaux qui ont plus de profondeur.

Une figure de prisme triangulaire, dont la base se trouve hors de l'eau et le tranchant dans l'eau, sera déjà bien plus avantageuse, et cela d'un côté par ce que la matière pesante, le lest, qu'on place au fond, se trouvera à une plus grande profondeur et rabaissera de beaucoup le centre de gravité du vaisseau; et d'un autre côté par ce que la plus grande masse de l'eau déplacée se trouvera vers le haut et rehaussera le centre de gravité de toute la masse d'eau déplacée.

Une courbe telle que celle que je dessine dans ce moment (fig. 10) aura cet avantage à un plus haut degré que le triangle, parce que sa figure renflée vers le haut fait remonter davantage le centre de gravité e de l'eau déplacée et parce que le fond sera toujours assez spacieux pour contenir le lest. Mais cette figure a encore un second avantage aussi précieux que le premier. Représentez vous bien clairement la masse du vaisseau comme concentrée en c et suspendue au point e. Lorsque le vaisseau est forcé de faire des oscillations autour du point e, ses flancs trouvent une résistance considérable dans la masse d'eau adjacente qui oppose son inertie aux déplacemens que les oscillations veulent opérer, et cette résistance augmente en raison de

hauteur entière d'immersion da et en outre en raison de plus de la moitié de la distance ea du point d'apui e au bout inférieur a de notre figure.

Ce second avantage est si considérable qu'on fixe à cet effet en a une poutre qui règne sur toute la longueur du vaisseau, nommée *quille*, dont on ne se passe que pour les bâteaux plats destinés à voyager sur des rivières ou canaux de peu de profondeur et où les orages ne sont pas à craindre.

Mr. de T. J'avoue que je ne comprends pas encore comment le vaisseau peut avoir une assiette assez solide pour résister à la force du vent; car vos deux centres de gravité me paroissent assez proches l'un de l'autre.

Mde. de L. Et tant que Monsieur *de T.* ne sera pas rassuré je le serai bien moins encore et je ne mettrai pas le pied même sur le plus grand vaisseau de guerre.

Mr. de P. Vous me mettez, Madame, dans un grand embarras. Pour vous satisfaire de même que Mr. *de T.* il faudroit vous détailler la mâture et la voilure des vaisseaux; vous parler d'une demi douzaine d'autres centres de gravité, du centre d'impulsion du vent sur les voiles nombreuses qui composent l'agrès des batimens, toutes choses que je ne connois moi-même qu'imparfaitement et dont les calculs sont très difficiles.

Mais il me vient une idée plus simple et qui j'espère satisfera Monsieur *de T.* Voyons. Votre défiance, Monsieur, vous vient du peu de distance des deux cen-

tres de gravité. Supposons la, dans un vaisseau de 100 canons, puis que Madame *de L.* parle des plus grands vaisseaux de ligne, supposons la seulement de 3 pieds, ce qui n'est pas un dixième de la profondeur d'un pareil vaisseau, et voyons quel poids il faudroit placer d'un côté, par ex: en b, pour faire pancher le vaisseau d'environs 20 degrés, inclinaison qui n'est encore nullement dangereuse. Un vaisseau de cette grandeur avec ses mâts et ses voiles, ses canons, son lest, l'équipage et la nourriture pour plusieurs mois, peut peser quinze millions de livres que nous regardons comme concentrés en c. Le poids b changera la place du centre de gravité, et cela de la manière suivante: Le poids b doit être considéré comme une masse qui a son centre de gravité à elle, et cette masse et celle du vaisseau auront un centre de gravité commun qui sera sur la droite cb qui les joint. Ce centre de gravité o sera d'autant plus près de c que b est plus petit que la masse du vaisseau, et on le trouvera en divisant cb en deux parties qui soient en raison inverse des masses adjacentes. Ce nouveau centre de gravité o étant fixé, nous savons la position qu'aura le vaisseau; la ligne eo sera verticale, parce que le vaisseau ne peut être en équilibre que lorsque son nouveau centre de gravité est dans la verticale qui passe par son point d'apui e.

Mr. de T. Je conçois cela; mais comment trouver la grandeur du poids b?

Mr. de P. Nous sommes convenus que l'angle d'inclinaison oec est de 20 degrés, et je vois par aperçu de calcul que cet angle exige que le point o se trouve à une distance de e d'environ $\frac{1}{30}$ de la ligne ob;

c. à. d. que o c est à o b, ou le poids p à celui du vaisseau, comme 1 à 30. Ainsi le poids p qui doit faire incliner notre vaisseau de 20 degrés sera $\frac{1}{30}$ de 15'000,000 de livres c. à. d. de 500,000 livres. Or, Madame, comme vous pesez à peine 100 livres, il est clair que votre personne ne fera pas pancher bien considérablement le vaisseau.

Mde. de L. (riant) Je n'imaginois pas, Monsieur *de P.*, que vous me prouveriez aujourd'hui que ma personne fut de si peu d'importance.

Mr. de P. Sur un vaisseau, Madame, où il n'est question que du poids physique et non du poids moral.

Mr. de R. Moi, je n'ai pas de défiance; je me contente d'admirer la subtilité et la profondeur de la théorie des vaisseaux.

Mr. de P. Combien n'y a-t-il pas d'autres choses à considérer en fait de construction navale! N'oublions pas la figure de la coupe du vaisseau sur sa longueur, figure qui doit diminuer autant que possible la résistance de l'eau qui s'oppose à la vîtesse de la course; la construction et l'assujettissement des mâts pour leur donner la plus grande force de résistance avec le moins de matière possible; le gouvernail dont la position fixe le cours du vaisseau sous tant de directions diverses du vent, la figure des ancres pour qu'ils soient en état d'arrêter ces masses énormes en dépit des vents et des vagues, &c. — Aussi la construction des grands navires, qui portent dans les zônes les plus éloignées les productions des continents, des îles et des mers, ou de ces citadelles flottantes qui décident souvent sur la

surface de l'océan le destin des Empires, cette construction dis-je est un des plus beaux monumens de la sagacité et de la hardiesse du génie de l'homme.

Mais que direz-vous, Madame, si je quitte ce grand sujet pour passer à des objets petits et minutieux qui paroîtront mériter à peine votre attention?

Mde. de L. Que si ces objets sont dignes de l'attention des Physiciens ils mériteront sûrement la mienne et qu'en tout cas ils seront proportionnés à ma propre petitesse que vous m'avez si bien demontrée.

Mr. de L. Bravo! vous voilà enfin en guerre ouverte avec Monsieur *de P.* Voyez ce que c'est que les femmes! Elles voudroient nous écraser même de leur poids physique.

Mde. de L. Je connois trop bien la générosité de Monsieur *de P.* pour craindre que ce badinage le fasse ranger de votre parti.

Mr. de L. Tant mieux; j'aurai l'honneur d'être seul et . . . . . .

Mr. de P. Trève de guerre, Général, d'autant plus que nous allons rentrer dans la sphère d'une attraction où il ne sera pas question d'inimitié et où tout se passe très pacifiquement. Nous parlerons des *tubes capillaires* et de plusieurs autres phénomènes qui s'y rapportent.

Le Comte. C. Cet objet intéresse la Physiologie des plantes et me fera plaisir.

Mr. de P. On nomme tubes capillaires des tubes de très petits diamètres qui, plongés par un bout dans l'eau, font monter dans leur intérieur ce liquide au dessus de son niveau, et le problème à résoudre est

de décrire le mécanisme qui produit cette ascension. D'abord nous observons que cette ascension est encore sensible dans des tubes de verre de 6 lignes de diamètre, qu'elle devient de plus en plus grande à mesure que le diamètre des tubes diminue et qu'elle est précisément en raison inverse des diamètres.

Pour nous mettre sur la piste de ce phénomène qui paroit contredire les lois de l'équilibre des fluides, grossissons considérablement le diamètre de ces tubes, ou bien versons de l'eau dans un gobelet cylindrique de verre, et nous verrons d'abord que l'eau ne conserve pas en tous points son niveau naturel, mais quelle monte un peu vers la surface du verre, comme je vais vous le dessiner (fig. 11). Le niveau naturel de l'eau devroit être la droite a e. Mais cette ligne n'est droite que dans sa partie c b du milieu; vers les bords l'eau monte à la paroi du vase et forme les lignes concaves i b et c d; et nous trouvons déjà une analogie entre ce phénomène et celui du tube capillaire (fig. 12); car la surface a b de l'eau dans le tube est concave et peut être considérée comme une surface semblable à i b c d mais rétrécie jusqu'à ce que la partie rectiligne b c disparoisse; et en effet nous avons précisément une courbe composée des deux branches i b et c d dans un tube de 9 lignes de diamètre.

Examinons de plus près ce phénomène de la courbure de la surface de l'eau. Il est clair que cette courbure a lieu parce qu'il s'est élevé une portion d'eau que nous pouvons exprimer par le triangle curviligne i a b ou c e d, et que cette masse d'eau élevée peut être considérée comme composée de petites colonnes d'eau

de différentes hauteurs qui décroissent rapidement de la surface verticale du verre vers le milieu, et dont nous supposons la dernière encore sensible être en b et c. Ces petites colonnes adhèrent entre elles et nous retrouvons la force qui les unit dans l'adhésion des particules d'eau vers leurs voisines.

Le principal point de notre problème est de trouver la force qui contraint l'eau de s'élever au dessus de son niveau naturel. Mais il faut pour cela considérer différents cas de notre phénomène que je vais vous alléguer.

Si on enduit la surface de notre vase d'une mince couche de suif ou de cire, l'eau ne forme plus la courbe ib ou cd, mais est sensiblement horizontale et rectiligne, et un tube capillaire, également enduit de suif ou de cire à son intérieur, ne laisse pas monter l'eau au dessus de son niveau extérieur.

Si on prend un vase de verre sans suif et qu'on y verse du mercure, le mercure prendra une figure contraire à celle de l'eau; il s'éloignera du verre et aura une forme convexe (fig. 13.), dont id est le niveau naturel et ba et ce les portions courbées, et si nous tirons la parallèle ib, il est clair que nous trouverons qu'il manque à l'équillibre naturel une portion de mercure exprimée par les triangles curvilignes abi et ced. Donc il doit exister une force qui arrache le mercure de cet espace vide pour l'amener vers l'intérieur du vase. Si l'on plonge un tube capillaire de verre sans suif (fig. 14) dans du mercure, on observe que le mercure, au lieu de monter dans le tube au dessus de son niveau extérieur, s'abaisse au dessous, et la surface abaissée ab

est convexe et nous offre un rétrécisement de la courbure a b c e.

Enfin si on prend différentes liqueurs, et qu'on y plonge un tube capillaire, on trouve que les hauteurs aux quelles les liqueurs montent sont très différentes; pour l'eau, l'acide sulphurique, l'esprit de vin, dans le rapport de 33 à 15 à 13½.

Le Comte C. Ces phénomènes indiquent à coup sur une action qui provient de l'attraction de surface.

Mr. de P. Assurément et notre problème consiste à présent à voir comment cette attraction agit dans notre cas. Imaginons d'abord le liquide comme ayant un niveau parfait a e (fig. 11.) S'il doit monter vers i, il faut qu'il soit attiré par la surface du verre. Mais la molécule qui s'élève au moyen de cette attraction est retenue par l'attraction des autres molécules du liquide, et il est clair que, si la première de ces deux forces est la plus grande, la molécule montera; mais comme elle est liée à sa voisine, elle l'entrainera avec elle, celle-ci une seconde, cette seconde une troisième et l'élévation continuera jusqu'a ce que la somme de toutes les colonnes d'eau contenues dans l'espace i a b épuise la force donnée, qui n'est autre chose que la différence des attractions du liquide vers le verre et du liquide vers le liquide.

Si au contraire l'attraction du fluide vers le fluide est la plus forte, il est certain que le fluide s'écartera du verre et prendra la figure a b c e (fig. 13), et le vide a b i augmentera jusqu'à ce que le défaut du fluide dans cet espace épuise la force donnée, qui n'est autre chose

que le surplus de l'attraction du fluide vers le fluide sur l'attraction du fluide vers le verre.

Enfin si ces deux attractions sont égales, il est clair que le liquide ne montera ni ne baissera vers les parois du verre, et que sa surface sera parfaitement horizontale.

Mr. de G. Je trouve cette théorie bien simple et bien claire.

Mr. de P. Attendez. Cette explication n'est pas encore une théorie; il faut voir si elle cadre avec les expériences que nous avons eues sur l'adhésion des liquides aux solides. L'eau a une plus grande adhésion au verre qu'à elle-même; elle mouille le verre. Donc elle doit monter vers les parois d'un vase de verre. Le mercure a plus d'adhésion à lui-même qu'au verre; donc il doit s'éloigner du verre. Et nous avons vu que l'un et l'autre de ces phénomènes a lieu. Enfin si nous avons un vase de suif, qu'arrivera-t-il? L'adhésion de l'eau à l'eau est de 55 grains par pouce carré, celle de l'eau au suif est de 50 grains, c. à. d. de $\frac{1}{11}$ moindre que celle-là. Donc l'eau doit s'écarter du suif d'une très petite quantité, à peuprès d'un onzième de ce que l'eau monte à la surface du verre, c. à. d. d'une quantité presque imperceptible; et cela a réellement lieu.

Le Comte C. Voilà une preuve sans replique et qui change l'hypothèse en une théorie. Qu'en pense notre Général?

Mr. de L. Que je suis fâché qu'une démonstration si claire se fasse sans notre grand magicien, le théorème du parallélogramme des forces.

Mr. de P. J'ai bien été tenté de l'appliquer ici pour mieux étayer cette théorie. Mais cette application aux particules infiniment petites est si épineuse que je ne me soucie guères de vous l'offrir, d'autant plus qu'un bien plus grand sorcier que moi a échoué dans cette application.

Le Comte C. Nous savons à présent pourquoi l'eau monte vers les bords d'un vase de verre et pourquoi le mercure s'en écarte. A présent expliquez nous ce qui a lieu dans les tubes capillaires. Pardonnez moi mon impatience, Monsieur *de P.*

Mr. de P. Je ne veux pas mettre votre patience de Naturaliste à une plus rude épreuve, d'autant plus que je prévois que je finirai par vous chagriner.

Le Comte C. Comment cela?

Mr. de P. Patience, mon cher Comte, patience. Imaginez un tube de 9 lignes de diamètre plongé dans l'eau et que la surface de l'eau à l'intérieur ait sensiblement perdu sa partie horizontale ou plane et nous offre la figure bien arrondie (fig. 15) d'une petite jatte. Le plus bas point de cette petite jatte se trouvera exactement au niveau de l'eau extérieure; supposons que, comme cela a à peu près lieu, l'eau s'élève sur les bords de 1½ ligne au dessus de ce point inférieur, et considérons la force qui a élevé cette eau. Il est clair que cette force réside dans les points de contact du verre et de l'eau et est parconséquent proportionnelle à la somme de tous ces points, ou à la circonférence du tube, ou bien au diamètre. Si nous rétrécissons le tube de moitié, la force sera la moitié de ce elle étoit auparavant et elle ne pourra élever que la

moitié de l'eau qu'elle élevoit auparavant. Mais en supposant la même hauteur d'élévation dans les deux tubes et une courbe dib semblable pour le petit et pour le grand, il est clair que la masse contenue dans le ménisque acdib qui forme la petite jatte ne sera que le quart de celle de la grande, parce que les masses seront comme les carrés des diamètres. Donc la force sera double de la résistance: donc la résistance ou le poids n'épuisera pas la force; donc celle-ci doit forcer l'eau à monter dans le tube, ensorte qu'au dessus du plan horizontal ac, il doit s'élever un petit cylindre d'eau dans le petit tube au dessus du niveau extérieur de l'eau. Si vous supposez un tube de moitié moins large, que celui-ci, il est clair qu'il s'élèvera encore un petit cylindre d'eau, et que parconséquent l'eau doit monter toujours plus haut à mesure qu'on rétrécit le tube.

Mde. de L. Nous y voilà enfin arrivés, mais il m'a fallu employer une bonne dose d'attention pour amener deux gouttes d'eau dans votre tube capillaire.

Mr. de P. Vous me pardonnerez Madame, la peine que je vous ai causée, lorsque j'aurai l'honneur de vous dire que les théories de l'attraction capillaire données par d'autrs Physiciens sont bien plus compliquées et moins concluantes.

Considérons les tubes capillaires plus fins, où nous puissions mesurer facilement l'ascension de l'eau au moyen du compas ou d'une échelle, et supposons que le tube dans notre figure (fig. 12.) élève l'eau à une hauteur ac de 10 lignes. Dans un autre tube dont le diamètre seroit de moitié moindre, une colonne d'eau de même hauteur n'aura qu'un quart du poids, et la force

ne sera que la moitié. Donc la force élèvera une colonne de hauteur double de ac ou de 20 lignes. Si le diamètre du nouveau tube n'est que le tiers de notre premier tube, une colonne d'eau dans ce petit tube de la hauteur ac ne pèsera que $\frac{1}{9}$ de la colonne ac; mais la force est $\frac{1}{3}$ de celle du premier tube. Donc l'eau s'élèvera au triple, c. à. d. à 30 lignes. Et voilà le théorème demontré: que les hauteurs des colonnes d'eau élevées dans les tubes capillaires sont précisément en raison inverse des diamètres, théorème que l'expérience confirme pour toutes les proportions.

Quant à la dépression du mercure, je puis vous en épargner la démonstration; car comme la cause qui agit ici est l'opposée de celle qui agit pour faire monter l'eau, il est clair que nous devons avoir des résultats opposés, mais soumis à la même loi.

Mr. de R. Ainsi voilà ce phénomène énigmatique expliqué; et cet accord des lois générales de la Nature, même dans les phénomènes qui semblent les contredire, fait bien l'éloge de la Physique.

Mr. de P. Bien des remercimens, Mr. *de R.*, de la part de la Physique pour cet éloge. Mais pour le mériter entièrement il faut qu'elle nous dise encore dans quels points des surfaces du verre et du liquide réside l'attraction qui produit ce phénomène. On a cru, et quelques Physiciens le croient encore, que cette attraction réside dans toute la surface intérieure du verre qui contient le fluide élevé; ce qui ne peut être nullement (quoique l'adhésion ait sûrement lieu à tous ces points) parce que chaque point se trouve attiré ec la même force de haut en bas que de bas en haut

et que l'effet est parconséquent nul. D'autres attribuent l'élévation de l'eau et la dépression du mercure à la courbure du ménisque; mais cette courbure est, comme nous l'avons vu, elle-même l'effet de l'adhésion et ne peut être considérée comme la cause du phénomène. Moi je l'attribue à l'attraction de la bande circulaire infiniment étroite du verre qui se trouve immédiatement au dessus du liquide aux points de contact. Une preuve incontestable de cette vérité est que, lorsqu'on plonge un tube capillaire plus large par un bout que par l'autre, quelque soit le bout plongé, la colonne d'eau se trouve élevée à une hauteur due au diamètre du tube à l'endroit de la surface de la colonne d'eau, quelque soit d'ailleurs la figure et l'ampleur de la partie du tube remplie d'eau. Je fais même à cet égard l'expérience suivante bien remarquable:

Je prends une cloche de verre de 6 à 7 pouces de diamètre et d'environ autant de hauteur. Cette cloche se termine à sa partie supérience par un tube capillaire très étroit, en sorte que la hauteur entière de la pointe du tube jusqu'au bas de la cloche soit d'environ 10 pouces, et j'ai soin de donner au tube un diamètre aussi petit que l'auroit un tube ordinaire pour élever l'eau à 10 pouces. Alors j'enfonce la cloche perpendiculairement dans un grand vase d'ean, L'air s'échappe par le petit tube et l'eau monte dans la cloche que je laisse s'enfoncer jusqu'à ce que l'eau ait atteint l'xtrémité du tube capillaire. Alors je remonte la cloche jusqu'à ce que son bord seul plonge encore de quelques lignes dans l'eau; et toute cette masse d'eau soulevée, qui pèse 8 à 10 livres, reste suspendue au tube capillaire

comme si la cloche n'avoit pas plüs de diamètre que le tube. Je puis même interrompre la colonne d'eau dans la partie capillaire par une bulle d'air sans que rien change. La masse d'eau se soutient pourvu qu'il y ait une goutte d'eau presque imperceptible dans la partie supérieure (la plus fine) du tube.

Le Comte C. Ge phénomène est réellement bien paradoxe.

Mr. de P. Et il ne s'explique que dans la supposition de l'attraction du petit anneau circulaire d'attraction.

Le Comte C. J'aurois bien une question à faire.

Mr. de P. Peut-être y satisferai-je d'avance par les deux faits suivants que fournit l'observation.

Ni l'épaisseur du tube capillaire ni sa longueur n'ont aucun effet sur l'ascension ou la dépression des fluides, mais uniquement la nature du fluide et de la surface de la matière du tube.

Les tubes capillaires ne produisent jamais un écoulement d'eau par leur orifice supérieur. Soit par ex: un tube qui élève l'eau à 10 pouces de hauteur; rompez le de façon que l'un de ses deux morceaux ait 9 pouces et l'autre 1 pouce de longueur et plongez les tous deux chacun par un bout dans l'eau; l'eau montera dans les deux jusqu'à l'orifice supérieur mais ne le dépassera pas; il ne s'établit aucun écoulement.

Le Comte C. C'est précisément là l'objet de ma question; ce dernier fait me semble une nouvelle preuve pour l'attraction du petit anneau circulaire.

Mr. de P. En effet. Mais permettez moi de vous offrir un nouveau fait ou plutôt deux dans un seul

phénomène. Imaginez que cf et de (fig. 12) représentent non les parois d'un tube, ce à quoi ces lignes nous ont servi, mais les tranches de deux plaques de verre très rapprochées l'une de l'autre et placées ainsi dans un vase plein d'eau. Il s'élèvera entre deux une nappe d'eau qui n'aura que moitié de la hauteur de la colonne d'eau qui s'élève dans un tube dont le diamètre égale la distance des deux plaques de verre; et en outre ces deux plaques seront attirées l'une vers l'autre, en sorte qu'elles finissent par se toucher par leurs bords supérieurs.

Le Comte C. Pour le second de ces phénomènes je crois en deviner la cause. L'eau prendra entre ces deux plaques une surface courbe comme celle que vous avez dessinée en ab (fig. 12.) et chaque tranche verticale de la nappe d'eau peut être considérée comme un poids attaché à un fil courbé ab dont les bouts sont fixées aux plaques. Ce fil imaginaire est l'adhésion des molécules de l'eau entre elles, et la colle qui en attache les bouts aux plaques c'est l'adhésion de l'eau au verre.

Mr. de P. Fort bien, Monsieur le Comte; et voyons si Monsieur *de T.* voudra bien se charger de l'explication de l'autre phénomène.

Mr. de T. Je veux l'essayer, quoique le problème me parroisse difficile. J'imagine qu'il faudra partager la nappe d'eau en colonnes carrées verticales qui se touchent mutuellement par deux côtés et qui touchent le verre par deux autres côtés. Nous n'avons donc pour supporter chacune de ces colonnes que la moitié

de la circonférence de leur surface en contact avec le verre et parconséquent la moitié de la force d'ascension qui auroit lieu si le contact existoit des quatre côtés; et parconséquent l'élévation de la liqueur ne doit être que la moitié de celle qui auroit lieu dans un tube carré.

Mr. de P. Permettez moi d'ajouter à cette solution qui est fort juste, que la Géométrie et le calcul prouvent qu'un tube carré élève l'eau à la même hauteur qu'un tube cylindrique dont le diamètre est égal au côté du tube carré.

Le Comte C. A présent, Monsieur *de P.*, ne nous faites plus attendre les applications de l'action capillaire.

Mr. de P. Volontiers, et nous passerons, en faveur de ces applications, plusieurs cas semblables aux précédents qu'on fait ordinairement suivre après la théorie des tubes capillaires.

D'abord nous rangeons sous la loi de l'action capillaire la pénétration de l'eau dans les corps fibreux, tels que le papier bulle, les toiles, l'amianthe &c. Les fibres de ces corps laissent entre elles des vides très étroits qu'on peut regarder comme des tubes capillaires très fins.

Le sable et tous les corps composés de petits grains offrent également de petits vides dans les quels l'eau monte par l'action de la capillarité.

La même action attire dans l'intérieur du bois l'humidité de l'air, c. à. d. de l'eau dont l'air est imprégné; et lorsque l'air se sèche il retire à son tour cet-eau du bois. Cette double opération se fait avec

une force étonnante. La planche qui perd son humidité se fend lorsque ses côtés sont bien assujettis à des points fixes, parce que la perte de l'eau occasionne une diminution de volume qui se manifeste par la crévasse. Le contraire arrive lorsqu'on humecte une planche également assujettie entre deux points fixes; elle augmente de volume et repousse les appuis avec une force presque insurmontable. On emploie même cette force dans les carrières où l'on prépare les pierres de moulin. On taille un bloc de pierre du diamètre de 5 à 6 pieds qu'on veut donner aux pierres de moulin et d'une hauteur qui comprend plusieurs fois l'épaisseur d'une de ces pierres. Puis à une hauteur convenable on taille tout au tour du bloc une rainure de quelques pouces de profondeur dans la quelle on enfonce au marteau des coins de bois bien séchés auparavant. Cela étant fait, on verse de l'eau sur tous les coins. L'eau, qui s'introduit dans ces morceaux de bois, les gonfle et ce gonflement produit une telle force que le bloc se fend sur toute son épaisseur dans le plan des coins, et voilà la pierre de moulin enlevée du bloc comme d'un coup de sabre.

Mr. de R. C'est un effet prodigieux! Quelle force ne faut-il pas pour surmonter le poids seul d'une pierre de moulin! et puis la ténacité des deux surfaces du bloc bien plus considérable encore que le poids! Comment une force en apparence si foible peut-elle produire un effet aussi prodigieux?

Mr. de P. Je vous tromperois, mon cher Mon-*de R*, si je vous disois que l'attraction cappillaire agït ici immédiatement; non, c'est par le moyen d'un in-

termédiaire que je ne puis encore vous nommer, mais nous y reviendrons par la suite. Passons à d'autres objets.

Le Comte C. Ne nous parlerez-vous pas, monsi-*de P.*, de l'action capiillaire qui fait monter le suc dans les plantes? J'attends cette application avec impatience.

Mr. de P. Non, Monsieur le Comte, et c'est que je vous avois prédit d'abord.

Le Comte C. Mais pour quoi? Trouvez-vous la chose trop simple?

Mr. de P. Non, mais je trouve que la chose n'existe pas.

Le Comte C. Cela ne m'étonne pas peu, et contredit les notions les plus généralement reçues dans la Physiologie des plantes.

Mr. de L. Comte! Ne lâchez pas prise. Je crois également à l'action capillaire dans les tuyaux des plantes, et si je ne puis pas vous fournir des argumens, au moins je vous soutiendrai de toute ma méchanceté.

Mr. de P. Votre méchanceté, Général, pâlira en face de l'expérience.

D'abord vous savez, Monsieur le Comte, mieux que moi, que nous n'avons pas seulement des herbes d'un pied ou deux, mais des palmiers de 200 pieds de hauteur; calculons le diamètre des tubes cappillaires qui porteroient la sève de la racine à la cime de ce géant végétal. Un tube capillaire d'un tiers de ligne de diamètre élève l'eau à $8\frac{2}{10}$ lignes de hauteur; c'est une expérience fondamentale répétée et confirmée par beaucoup d'autres, faites avec des tubes de différents diamètres. Calculons à présent par la loi de la raison

inverse des diamètres celui de notre tube végétal pour une hauteur de 200 pieds. Nous trouvons cette hauteur 3512$\frac{13}{41}$ fois plus grande que celle de 8$\frac{2}{10}$ lignes.

Le Comte C. (gaiment) Je vous fais grâce des $\frac{13}{41}$.

Mr. de P. Grand merci, d'autant plus que c'est à votre avantage. Ainsi le diamètre du tube végétal sera 3512 fois plus petit que celui de notre tube, ou sera égal à la dix mille cinq cent trente sixième partie d'une ligne. Dites moi à présent, Monsieur le Comte, si le microscope nous a découvert ces tubes capillaites?

Le Comte C. J'avoue que non; mais il y a bien des choses dans la Nature que le microscope n'a pas découvertes, et comme la matière a une divisibilité si prodigieuse pourquoi ne pas supposer que les fibres d'une plante n'auroient que la dix millième partie d'une ligne en épaisseur, et dont les faisseaux produiroient par leurs interstices des tubes encore plus fins que ceux que nous avons calculés?

Mr. de P. Cette possibilité ne peut pas être niée. Mais avouez aussi, Monsieur le Comte, que cette posisibilité ne suffit pas pour baser l'explication d'un phénomène aussi important. Il faudroit constater par l'expérience l'existence de ces tubes. Passons à un autre argument.

Je suppose l'existence de ces tubes capillaires assez fins pour monter le suc des plantes d'ici à la lune. Quel peut être le but de la Nature dans cette ascension? Assurément la nourriture de la plante.

Le Comte C. Fort bien.

Mr. de P. Ainsi le suc arrivé à la surface d'une

feuille devroit s'écouler au dehors pour produire l'accroissement de la feuille. Mais nous avons vu que les tubes capillaires ne produisent pas d'écoulement.

Le Comte C. Ceci est plus sérieux. L'écoulement n'a-t-il réellement pas lieu?

Mr. de P. Assurément et il ne peut pas avoir lieu; car, abstraction faite de toute théorie, si vous observez au microscope la surface du plus fin tube capillaire, assez étroit pour porter l'eau au-delà de sa hauteur, vous trouverez que l'eau est montée jusqu'à son orifice supérieur, et qu'elle y prend une surface concave comme celle que nous avons observée (fig. 12) lorsque l'eau n'atteint pas toute la hauteur du tube. S'il se faisoit un écoulement, cette surface devroit être convexe.

Le Comte C. Faudra-t-il me rendre?

Mr. de L. Non, Comte, combattez.

Mr. de P. Je ne suis pas encore au bout de mes preuves. Vous savez, monsieur le comte, que les tubes nourriciers des plantes sont toujours pleins de leurs sucs aussi longtems que la plante croit. Or l'action capillaire dans un tube rempli est nulle. Dès que le liquide a atteint la hauteur qui lui est assignée par le diamètre du tube il n'y a plus d'ascension et le renouvellement des sucs seroit inexplicable. Pour achever de vous convaincre je n'ai plus qu'à alléguer l'expérience suivante: Prenez une longue bande de papier bulle et un copeau de sapin, suspendez les à un point fixe en sorte que leur bout trempe dans l'eau et voyez à quelle hauteur l'eau montera par la force capillaire. Cette hauteur ne passe pas 9 pouces pour le papier et

6⅜ pouces pour le copeau. Et cependant la première de ces deux substances, le papier, est composée de l'écorce du lin ou du chanvre, dont les tubes capillaires devroient faire monter la sève dans la plante, pour le lin jusqu'à 18 pouces, pour le chanvre jusqu'à 6 pieds de hauteur. Un copeau de bois de sapin, dont l'arbre atteint cependant une hauteur de 70 pieds, n'élève l'eau qu'à 6⅜ pouces.

Mr. de L. Qui a fait ces expériences? Il faut savoir si l'auteur mérite croyance.

Mr. de P. Malheureusement c'est moi-même.

Le Comte C. Oui malheureusement pour l'hypothèse capillaire. Je me rends, monsieur *de P.* Mais puisque vous avez détruit mon beau rêve vous nous devez une belle réalité, c. à. d. la vraie explication de l'ascension du suc dans les plantes.

Mr. de P. Je vous la donnerai aussi belle que je l'ai; permettez moi seulement d'observer au Général, en revanche de l'envie qu'il a eue d'être méchant, que cette hypothèse de la capillarité végétale est le premier exemple de celles qu'il vouloit bannir de nos entretiens et dont je lui ai prédit que lui-même ne s'en déferoit qu'à regret.

Mr. de L. (riant) Point du tout et ma méchanceté consistoit uniquement à vous mettre aux prises avec Monsieur le Comte.

Mde. de L. Fi, mon ami. Comment pouvez-vous aimer ainsi la guerre?

Mr. de L. C'est une qualité royale, Madame, qui a siégé sur tous les trônes du monde depuis Abraham, qui a battu sept rois en rase campagne, jusqu'à

Louis XIV qui nous a laissé pour héritage les armées permanentes. C'est la passion de votre cher Bonaparté.

Mde. de L. Ne me parlez pas de ce buveur de sang humain, mais plutôt des Souverains pacifiques qui l'ont mis à la raison.

Mr. de G. C. à. d. à la mais on de force.

Mr, de P. Oserais - je émettre ma petite opinion sur l'ascension du suc dans les plantes?

Mde. de L. Vous me ferez plaisir; csr je m'aperçois que l'ironie de mon mari alloit me jetter dans la politique.

Mr. de P. Je prends la liberté de m'adresser particulièrement à vous, monsieur le Comte. La Physiologie des plantes nous indique que la sève et tous les sucs nourriciers changent de nature en changeant de place, surtout dans les parties les plus éloignées de la racine, comme les feuilles, les fleurs, les fruits. L'air ambiant, la lumière et la chaleur sont trois grands réagents que la Nature employe à cet effet, et nous voilà parconséquent dans l'empire de la Chimie, Nous avons donc dans les mêmes tubes nourriciers plusieurs sucs ou liqueurs plus ou moins hétérogènes par leurs propriétés chimiques. Ainsi il doit s'établir une marche réciproque de ces substances les unes vers les autres en vertu de l'affinité; et cette solution nous explique non seulement l'action des racines sur les branches, les feuilles &c. mais aussi la réaction bien observée de celles-ci sur les racines.

Le Comte C. Voilà une théorie bien simple; et si on compare la lenteur de saturation dans les procès

chimiques, que vous nous avez dévoilée, avec la lenteur de l'accroissement des plantes, nous aurons une analogie nouvelle et importante.

Mr. de P. Ajoutez à cela que le long voyage à faire de la racine à la cime de la plante n'est nécessaire que pour les substances qui proviennent du sol. Quant à celles qui viennent de l'air, elles n'ont à faire que le petit voyage autravers de l'écorce des rameaux ou de l'épiderme des feuilles, des fleurs et des fruits; et que cela explique le grand accroissement des feuilles comparé à celui de la tige ou du bois.

Mais en voilà, j'espère, bien assez pour aujourd'hui. Demain nous ferons un voyage dans la région des fluides élastiques.

DIXNEUVIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de P.* Aujourd'hui nous aurons à faire à des êtres bien légers, aux airs de toute espèce considérés comme fluides pesants et élastiques.

Mde. de L. Les airs sont-ils pesants? Ils n'en ont guères l'air.

Mr. de P. Nos ancêtres de l'antiquité et du moyen age ne s'en doutoient pas. Ils regardoient l'air atmosphérique, le seul qu'ils connoissoient, comme une espèce de milieu entre les corps et les esprits, et les Grecs n'avoient qu'un même nom pour l'esprit et l'air.

Mde. de L. Comment savons-nous que l'air est pesant?

Mr. de P. Nous le pesons avec une balance. On prend pour cet effet un ballon de verre, muni d'un robinet, et on pèse ce ballon à une balance fort juste; puis on le vide d'air au moyen de la pompe pneumatique et on le pèse de nouveau; il se trouve qu'il est plus léger qu'auparavant. En comparant le volume du ballon au poids trouvé de l'air qu'il contenoit on fixe la pesanteur spécifique de l'air, qui est $\frac{1}{778}$, le pied cube pesant 795 grains de france.

Sachant à présent combien pèse notre ballon vide, si nous l'emplissons d'un autre gas, nous trouverons également le poids de ce gaz.

Le Comte C. Mais la pompe pneumatique ne fait pas un vide parfait et il paroît que par cette raison les résultats ne peuvent pas être exacts.

Mr. de P. Votre observation est juste, mais on tient compte de ce peu d'air qui reste dans le ballon, parce qu'on peut le mesurer exactement. Ainsi, s'il nous est resté $\frac{1}{300}$ de l'air dans notre ballon, la différence de poids que la balance a fournie se rapporte non à tout l'air contenu dans le ballon mais seulement à $\frac{299}{300}$ et on multiplie le poids trouvé, par $\frac{300}{299}$ pour obtenir le vrai poids de tout l'air du ballon.

Quant aux gaz artificiels on évite le mélange de ces gaz avec le reste d'air atmosphérique en remplissant deux fois le ballon du gaz à peser. A la première opération on a $\frac{1}{300}$ d'air atmosphérique mélangé avec le gaz artificiel. Lorsqu'on fait le vide il ne reste plus que $\frac{1}{300}$ de ce mélange et lorsqu'on le remplit la seconde fois, le gaz ne se trouve mêlé qu'avec $\frac{1}{90000}$ d'air atmosphérique, quantité qu'on peut regarder comme nulle, d'autant plus que nous ne pouvons préparer aucun gaz avec une pareté parfaite, l'air atmosphérique se fourrant partout.

Le Comte C. Je vous suis bien obligé de ces détails, et je conçois que si un Physicien ne veut pas se contenter de cette exactitude il peut la pousser jusqu'à un troiscentième de celle-là ou de $\frac{1}{27.000000}$ en répétant l'opération une troisième fois.

Mr. de P. Précaution inutile, nos balances

teignant à peine l'exactitude nécessaire pour indiquer seulement $\frac{1}{50000}$ du poids d'un pied cube du gaz le plus pesant.

Puisque nous savons à présent bien positivement que tous les gas sont pesants, il est clair que tout corps placé dans l'air doit y perdre de son poids. Aussi les corps que nous pesons dans l'air nous paroissent tous plus légers qu'ils ne le sont réellement, et l'erreur seroit $\frac{1}{771}$ de la perte qu'ils font dans l'eau si le poids dont on se sert pour les peser n'étoit lui-même plongé dans l'air. Ainsi pour obtenir à la rigueur la vraie pesanteur spécifique d'un corps il faut avoir égard à cette circonstance. Comme les poids dont nous nous servons communément sont de laiton, il est clair que le vrai poids des corps plus légers, est plus grand que celui que la balance indique, et celui des corps plus pesants, tels que l'argent, le plomb, le mercure, l'or et le platine et leurs mélanges sont plus légers.

Mde. de L. Ainsi les orfèvres qui nous vendent l'or au poids du laiton nous fripponnent.

Mr. de P. Oui, Madame; mais bien certainement sans le savoir, et ils sont d'autant plus innocents qu'ils l'ont acheté de même.

Cette considération du poids de l'air nous prouve que toutes nos balances sont proprement des balances hydrostatiques, et l'inventeur de la pompe pneumatique, Othon Guerike, Bourguemestre de Magdebourg, déjà en 1661 employa ce principe à la construction d'une balance nommée *manomètre* qui indique les variations de la pesanteur spécifique de l'air. C'est une balance ordinaire bien ajustée, à la quelle on a

suspendu d'un côté un ballon de 10 à 12 pouces de diamètre et de l'autre un poids égal de métal dont le volume est très petit en comparaison de celui du ballon. L'appareil étant mis en équilibre pour un certain état normal de l'air, l'équilibre sera rompu dès que l'air augmentera ou diminuera de pesanteur spécifique, par ce que le ballon perdra ou gagnera en poids dans la même proportion. En rétablissant l'équilibre par des poids additionnels on sait de combien l'air, dont le ballon occupe la place, a perdu ou gagné, et si on a préalablement cherché le poids absolu de cette portion d'air supposée dans son état normal, on peut déterminer à chaque instant la vraie pesanteur spécifique de l'air.

Mr. de T. Correction faite de la perte ou du gain que le contrepoids a subi.

Mr. de P. Bien entendu, si on ne veut pas commettre une faute d'environ $\frac{1}{8000}$. Dans les cabinets de Physique on a des manomètres en miniature, dont le ballon n'a guères que $2\frac{1}{2}$ pouces cubes de volume. On place cette petite balance aérostatique sous la cloche de la pompe pneumatique, et à mesure qu'on raréfie l'air on voit le petit ballon gagner en poids et baisser.

Ce principe de la pesanteur de l'air et de tous les gas étant posé, il est clair que tout fluide de cette espèce est soumis aux mêmes lois de l'équilibre que nous avons découvertes dans les liquides.

Voyons maintenant quels seront les phénomènes de *l'élasticité* des gas, et commençons par nous assu-

rer de cette propriété par une expérience grossière. Lors qu'on gonfle une vessie d'un air quelconque et qu'on ferme l'orifice, si on presse la vessie, elle diminue de volume, l'air enfermé se laisse comprimer, et aussitôt que la force cesse, l'air se rétablit dans son premier volume et la vessie est goufl ée comme auparavant.

Mr. de T. L'élasticité des gaz peut donc être considérée comme une force mécaniquè.

Mr. de P. Assurément et voici une expérience bien instructive à cet égard et à besucoup d'autres: La figure que je vous dessine (fig. 16.) est un cylindre de verre large de 4 à 5 pouces et haut de 10. Il est fermé par le haut, et le bas est fixé sur un pied. Un tube droit A i passe par son convercle et plonge jusques très près du fond. Un autre tube B o a courbé passe au travers du fond et pousse sa branche courte jusqu'à un ou deux pouces du couvercle. Un troisième tuyau à double courbure e b p D a son orifice e dans le couvercle. Enfin un quatième tube c q C a son orifice c dans le flanc du cylindre; u est une petite ouverture qu'on peut fermer au moyen d'une vis. L'endroit où se joignent tous ces tubes avec le cylindre ne laisse passer aucun air. Le trou u étant ouvert, versons un peu de mercure dans les tubes B, C, D, en sorte qu'il se mette, dans les deux branches de chacun d'eux, de niveau, à peuprès à la hauteur y z, puis fermons l'ouverture u. A présent versons dans le tube A du mercure, qui s'écoulera dans le cylindre. Comme l'air du cylindre est enfermé par tout et qu'il n'a de communication qu'avec les tubes, il se comprimera par le poids de la colonne de mercure

ix qui s'élèvera dans ce tube au dessus de la surface du mercure répandu dans le cylindre.

Cette compression de l'air renfermé se communiquera à tous les autres tubes; le mercure tombe dans les branches de communication et monte dans les autres. Si on mesure les différences de niveau ws, vn, tr, on les trouvera toutes trois égales à la différence de niveau xi du tube du milieu. L'expérience répétée à divers degrés de compression fournit toujours le même résultat: que les différences de niveau dans tous ces tubes sont égales.

Cette expérience nous fournit trois résultats bien importants. Le premier est que la compression de l'air s'exerce dans tous les sens; car nous avons une pression de haut en bas de la part de toute la masse d'air sur le mercure répandu dans le cylindre qui soutient la colonne de mercure ix; puis une autre pression de haut en bas à l'orifice du tube aoB, qni soutient la colonne ws; puis une de bas en haut à l'orifice e du tube ebpD, qui soutient la colonne vn; enfin une pression latérale qui agit sur l'orifice c du tube cqC et soutient la colonne tr.

Le second résultat est que toutes ces pressions opérées sur tous les points du vase sont égales. Et comme les différences de niveau ou les colonnes de mercure élevées augmentent avec la compression et lui font équilibre, on peut considérer la hauteur de ces colonnes de mercure comme la mesure de la compression qu'éprouve l'air Ainsi si les colonnes ont dans notre expérience 11 pouces de hauteur, nous disons que la compression équivant à 11 pouces de mercure. Si

nous avions voulu nous servir d'eau pour opérer une compression égale, il aurait fallu que les colonnes d'eau aient eu une hauteur $13\frac{1}{2}$ fois aussi grande c. à. d. de 12 pieds $4\frac{1}{2}$ pouces.

Le troisième résultat est que cette pression sur toute la surface du vase ne vient pas du poids de l'air contenu dans le vase, comme cela a lieu dans les liquides où la hauteur du liquide même produit la pression et en est en même tems la mesure. Dans les gas renfermés c'est l'élasticité qui opère cette pression; car le poids d'une colonne d'air de dix pouces n'est que $\frac{1}{773}$ du poids d'une colonne d'eau et $\frac{1}{10435}$ du poids d'une colonne de mercure de même hauteur. Or comme nous avions dans notrc expérience des colonnes de mercure de 11 pouces de hauteur, il est clair que la pression de cet air par son poids n'est que $\frac{1}{11478}$ de la pression qu'exerce l'élasticité. Si nous avions introduit plus ou moins de mercure dans le vase par le tube A, nous aurions eu une proportion plus petite ou plus grande, sans que la masse ou le poids de l'air renfermé eut changé.

Mr. de T. Cette expérience est bien fertile en belles conséquences et explique parfaitement les effets de l'air comprimé. N'a-t-on pas de semblables expériences sur l'air dilaté?

Mr. de P. Le même appareil nous en fournira. Faisons écouler le mercure contenu dans le vase par une ouverture pratiquée dans son pied; alors celui qui est dans le tube A s'écoulera de même et celui des trois autres tubes se remettra dans son niveau naturel. Fermons à présent cette ouverture par où s'est fait l'écou-

lement du mercure, et suçons l'air du vase par le tube A. Aussi tôt nous verrons monter le mercure des autres tubes dans le sens contraire à celui de l'opération d'avant c'est à dire se porter dans les courtes branches. Et si nous observons la hauteur de la colonne élevée, nous la trouverons égale dans les trois tubes et cette hauteur servira de mesure pour la perte d'élasticité que l'air a éprouvée.

Ainsi nous voyons l'élasticité des gaz agir dans tous les sens et sur tous les points de la surface des vases, précisément comme la pression des liquides, mais avec cette différence très remarquable que cette pression ne dépend pas du poids des gaz, que c'est une pression élastique et égale, à toutes les hauteurs du vase; la pression, provenant du poids du gaz, n'y apportant qu'une différence insensible; et vous jugerez par là que les Physiciens n'ont pas tort de ranger les phénomènes des liqueurs et ceux des gaz dans deux classes différentes quoique l'un et l'autre genre de fluides soit pesant et élastique.

Le jeune L. Avis au lecteur! Ceci me regarde.

Mde. de L. Une peu, à ce qu'il paroît.

Mr. de P. Moins qu'il ne paroît; car la remarque de notre jeune ami étoit dans le fond très juste.

Mr. de T. Dans la première de vos deux expériences le volume de l'air enfermé a du diminuer par l'introduction du mercure qui a pris une partie de sa place et c'est, il me semble, en raison de cette diminution que l'air a déployé son élasticité. Existe-t-il un rapport constant entre la diminution de volume et le

poids employé à comprimer l'air? Il me semble que cela doit être.

Mr. de P. Assurément et nous devons cette loi qui est une des plus simples que nous ayons, à Mariotte.

Mde. de L. Dites nous vîte cette loi, Mr. *de P.*; si elle est simple elle fera bien mon affaire.

Mr. de P. Absolument, Madame. La voici: Lorsqu'une portion de gas se trouve successivement comprimée par différents poids, les espaces qu'elle occupe sont présisément en raison inverse des poids, et comme dans ces cas là nous exprimons volontiers les poids par des colonnes de mercure, ce sera en raison inverse des colonnes de mercure que la portion de gas supporte.

Mde. de L. Voilà une fort belle loi. Ainsi pour réduire une portion de gas à la moitié, an tiers au quart de son volume, il faut une colonne de mercure double, triple, quadruple; et il me vient à l'idée que par une certaine pression on doit pouvoir réduire tous les gas à la même densité.

Mr. de P. Assurément, Madame, er je vous suis obligé de cette ingénieuse remarque parce qu'elle me donne occasion de vous faire part d'une idée sur l'élasticité des gas qui doit avoir place ici. Supposons, Madame, que nous ayons réduit tous les gas connus à la même densité, les poids ou colonnes de mercure nécessaires à cet effet sont la mesure de ce qu'on appelle les *élasticités spécifiques* des gas. Supposons que le gas atmosphérique ait une certaine densité sous la pression d'une certaine hauteur de mercure, il faudra 13 fois

cette hauteur pour donner la même densité au gas hydrogène; parce que l'air atmosphérique est 13 fois aussi dense que le gas hydrogène sous des pressions égales.

Mr. de T. Il y a ici, Monsieur *de P.*, quelque chose d'obscur pour moi; veuillez me l'expliquer. Je conçois la loi de Mariotte; je conçois que les élasticités spécifiques sont en raison inverse des élasticités ordinaires et en raison directe des volumes de quantités égales de gaz. Mais il me manque une unité pour toutes ces mesures. Par où commence-t-on à considérer un gas comme comprimé ou dilaté?

Mr. de P. La difficulté que vous éprouvez est bien naturelle; car nous ne savons pas quand un gas cesse d'être compressible et quant il cesse d'être dilatable, nos expériences ne pouvant pas être poussées à l'infini. Ce que nous savons bien precisément c'est que la loi de Mariotte est juste dans toute l'étendue de nos expériences, et on ne peut pas exiger que le Physicien employe des forces infiniment grandes qu'il ne possède pas.

Mr. de L. Fort bien. Nous voulons bien tenir le Physicien pour justifié et croire qu'il ne peut placer le Chimborasso sur ses appareils pour comprimer un gas. Mais dites nous comment le Physicien s'y prend pour trouver l'unité dont parle Mr. *de T.*

Mr. de P. Il s'en passe, et le comment nous conduit à la description d'un des plus importans instrumens de la Physique. En revanche je demande la permission d'être un peu prolixe, si Madame *de L.* ne s'y oppose pas.

Mde. de L. Je ne puis qu'y gagner et plaindre ces Messieurs s'ils sont forcés de s'accomoder à la foiblesse de ma tête.

Mr. de V. Il y a, Madame, certain vieillard que je ne nomme pas, qui envie la force de tête de certaine Dame.

Mr. de P. Retournons à la pesanteur des gas et faisons en l'application à notre atmosphère. Nous avons vu qu'une portion de gas, renfermée dans un vase ordinaire, a un si petit poids qu'on peut à peine en tenir compte dans les phénomènes de l'élasticité. Les colonnes de ce fluide sont trop courtes pour exercer une pression sensible. Mais si nous donnons à ces colonnes plusieurs mille toises de hauteur comme cela a lieu dans l'atmosphère de notre globe, alors il est clair que la pression d'une pareille colonne d'air sera très considérable.

Mr. de R. Il est souvent question du poids de l'atmosphère et je serai charmé d'avoir des notions exactes là-dessus. L'air, en nous environnant constamment, doit avoir une influence perpétuelle sur notre bien-être et est bien digne d'être considéré sous tous ses rapports.

Mr. de P. C'est ce que nous ferons petit-à-petit dans le cours de nos entretiens; à présent nous nous occupons de sa pesanteur, qui est une découverte du 17e Siècle. Ni l'antiquité, ni nos pères du moyen âge ne la connoissoient, quoique bien des phénomènes, qui leur étaient connus, l'attestassent. Voici le phénomène qui a été la cause de cette importante découverte. Imaginez un cylindre creux fermé à sa base

inférience et un cylindre solide (piston) placé dedans, fermant bien de tous côtés et armé d'une verge pour le tirer hors du cylindre. Il faudra une force considérable pour le tirer et qu'on trouve être en proportion de la base du cylindre. On attribuoit cette résistance à une certaine horreur que la Nature a pour le vide; car la Philosophie d'Aristote prétendoit que tout est plein et doit l'être. Si l'on fait un trou à la base du cylindre et si l'on y visse un tuyau dont le bout inférieur plonge dans l'eau; l'eau montera dans le tuyau et remplira le vide que le piston laisse en s'élevant. Ce phénomène est le principe des pompes aspirantes, et servoit de preuve pour l'horreur du vide; car, disoit-on, on voit parlà que la Nature abhorre le vide, puisqu'elle le remplit en dépit de la pesanteur de l'eau.

Mais la Nature se moqua de ce bel argument, se refusant à l'élévation de l'eau à plus de 31½ pieds dans une pompe aspirante qu'on avoit construite à Florence, l'eau se trouvant à une plus grande profondeur au dessous de la pompe. Le constructeur s'adressa pour l'explication de ce phénomène à Galilée, qui le persifla en lui répondant que l'horreur de la Nature pour le vide ne s'étend qu'à 31½ pieds. Ce grand génie, qui avoit découvert les lois de la pesanteur, inventé le pendule et les télescopes, devina surement d'abord la vraie cause du phénomène, mais la cacha.

Mr. de R. Pourquoi? Cela me fâche contre Galilée. Il ne faut jamais tromper personne, ni en Physique ni en Morale.

Mr. de P. Vous avez raison, d'autant plus qu'à cette époque Galilée avoit déjà condensé de l'air dan

un ballon et croyoit prouver par des expériences de ce genre que le poids de l'air est $\frac{1}{400}$ de celui de l'eau. Mais Galilée redoutoit l'inquisition qui ne badinoit pas avec les innovateurs qui osoient se déclarer contre la Philosophie d'Aristote dont on avoit fait en quelque sorte des articles de foi. Cependant il n'évita pas son sort et, à l'age de 70 ans! il marcha dans les prisons de l'inquisition pour avoir adopté le système du monde découvert par Copernic et défendu les antipodes; il n'en sortit qu'après avoir révoqué.

Le jeune de L. Cela est révoltant.

Mr. de L. C'est la moindre des horreurs que l'inquisition a commises, et ce tribunal sanguinaire a prouvé par son existence seule, mieux que tous les Physiciens ensemble, que la Nature n'a horreur de rien.

Mr. de P. Paix! Paix! mon Général! Car si vous donnez l'essor à votre éloquence contre l'inquisition, il ne sera plus question aujourd'hui de la pression de l'air.

Un élève de Galilée, Torricelli, se déclara avec courage contre l'opinion de son maître qui étoit devenue l'opinion commune, et une seule expérience mit la pesanteur de l'air au rang des plus grandes vérités de la Physique. Il dit: Si la Nature, en dépit de la pesanteur, abhorre le vide jusqu'à la hauteur de 31½ pieds, elle remplira un tuyau de cette longueur, de mercure aussi bien que d'eau. Mais si la cause de l'ascension de l'eau dans la pompe est la pression de l'atmosphère, cette pression équivalant à 31½ pieds d'eau dans l'expérience de la pompe, équivaudra à une colonne de mer-

cure de 28 pouces de hauteur; le mercure ne pourra se soutenir qu'à 28 pouces, et au dessus il restera un vide.

Torricelli se fit faire, en 1643, un tube de verre, d'environ deux lignes de diamètre et de 36 pouces de longueur, fermé par un bout, le remplit de mercure, en ferma l'orifice avec le doigt et le retourna, plaçant cet orifice toujours fermé dans une cuvette pleine de mercure. Voyez le dessein que je fais de cette fameuse expérience (fig. 17). Le tube se trouvant placé dans une situation verticale, Torricelli retira son doigt de l'orifice et vit à sa grande satisfaction le mercure non soutenu jusqu'à la hauteur c, mais tomber jusqu'en a et laisser l'espace ac vide. Il mesura la hauteur ab au dessus du niveau extérieur du mercure et la trouva d'environ 28 pouces.

Mr. de R. Quelle jouissance Torricelli dût avoir à l'aspect de ce vide et de cette colonne de 28 pouces!

Mr. de P. Ce tube devenu fameux prit le nom de *Baromètre* et se trouva bientôt dans les mains de tout le monde, parce qu'on lui assigna la fonction de prédire la pluie et le beau tems.

Mr. de G. Je ne suis pas trop crédule, mais je me compte cependant à cet égard au nombre des sectateurs du baromètre.

Mr. de P. Et pas tout-à-fait à tort. Nous traiterons ce chapitre dans la Physique de la terre. Arrêtons-nous encore pour quelques instans à la première expérience, qui, toute brillante qu'elle est, ne prouve pas la pesanteur de l'air à toute rigueur, et Pascal, un des plus grands géomètres de tous les siècles et homme

d'une grande piété, ne se rendit pas d'abord à cette preuve qui, en même tems qu'elle ne lui paroissoit pas concluante, étoit en opposition avec les décrets de l'Eglise qui combattoit pour l'horreur du vide.

Mr. de T. Passe pour les préjugés des prêtres d'alors qui auroient mieux fait de ne pas se mêler de Physique. Mais que pouvoit-il opposer à la preuve?

Mr. de P. L'expérience de Torricelli, prise au pied de la lettre, ne nous dit autre chose sinon que la force qui soutient une liqueur dans un tube d'ailleurs vide, est une force constante qui peut être le poids de l'atmosphère ou toute autre force. Il falloit encore prouver que, lorsqu'on diminue le poids de l'atmosphère, la hauteur de la colonne de mercure diminue aussi. Et c'est ce que fit Pascal. Il observa la hauteur du mercure dans une plaine et puis sur le sommet d'une montagne et trouva que, plus il s'élevoit avec sou baromètre et plus la colonne de mercure s'abaissoit.

Ces nouvelles expériences publiées en 1663 décidèrent. Pascal et tout le public savant d'alors décréta la pression de l'air, qui depuis s'est manifestée de mille manières.

Mr. de R. Quelle brillante époque pour la Physique que le milieu du dixseptième siècle! En 1638 Galilée publia les lois de la pesanteur; en 1643 Torricelli inventa le baromètre; en 1663 Pascal fit triompher la pesanteur de l'air et en 1666 Newton conçut le système de la gravitation!

Mr. de P. Newton fit à peu près dans le même tems ses grandes découvertes sur la lumière, qu'il pu-

blia plus tard, et Otton Guerike inventa en 1650 la pompe pneumatique.

Mr. de R. Il semble que la Nature a fixé certaines époques pour les grandes découvertes.

Mr. de G. Le tems présent n'est pas, à ce que je crois, moins fertile en découvertes que le dixseptième siècle.

Le Comte C. Il l'est certainement bien davantage; mais celles d'aujourd'hui sont moins générales et de moindre influence sur la Physique, et doivent l'être, les anciennes servant de fondement à tout. Et c'est ce qui explique pourquoi depuis Lavoisier, qui créa une nouvelle Chimie, la Nature semble ne nous plus donner que la monnoie des Galilées et des Newtons.

Mr. de P. Je tiens pour impossible qu'il paroisse jamais dans la carrière de la Physique un Génie d'une influence aussi décidée que Newton, les principes géneraux étant établis et la vie d'un homme suffisant à peine pour apprendre la Physique d'aujourd'hui dans toute son étendue. — Mais retournons au Baromètre.

On observa bientôt que la colonne de mercure ne garde pas une hauteur constante, mais qu'elle augmente et diminue de plusieurs lignes, en sorte que la différence entre les extrèmes va jusqu'à 2 pouces et plus, ce qui indique des variations dans la pression de l'air et par conséquent dans l'état physique et chimique de l'atmosphère, de l'étude des quelles on a voulu tirer le présage du beau et du mauvais tems.

Ainsi le baromètre nous donne immédiatement la pression et parconséquent l'élasticité des couches de

l'atmosphère dans les quelles il se trouve plongé. Nous concluons de ces observations que l'air, à la surface de la terre, a une élasticité de 27 à 28 pouces de mercure, et c'est de là que nous partons pour mesurer l'élasticité des gaz qui se trouvent sous une autre pression. Ainsi si nous voulions connoître l'élasticité de l'air contenu dans notre instrument (fig. 16), qu'on peut nommer un élatéromètre, lorsque les colonnes de mercure supportées par l'air ont 11 pouces, il faudroit observer le baromètre et ajouter sa hauteur à ces 11 pouces, parce que le baromètre indique l'élasticité de l'air dans l'instrument avant qu'on y ait versé du mercure. Supposant que sa hauteur ait été de 27 pouces, l'élasticité de l'air comprimé aurait été de 38 pouces. Dans la seconde expérience, celle où nous avons sucé l'air, si le mercure est monté de 5 pouces dans les branches opposées des tubes, il aurait fallu soustraire ces 5 p. des 27 qu'indique le baromètre, et le reste, 22 p., exprimeroit l'élasticité de cet air raréfié.

Mr. de T. Voilà la réponse à ma question, je vous en suis fort obligé.

Mr. de P. Le baromètre une fois inventé, on en a varié la construction, soit pour atteindre plus d'exactitude dans les observations, soit pour le rendre portatif. A la fin on est revenu comme toujours à une construction simple qui fournit l'un et l'autre avantage.

Le jeune de L. A quoi bon rendre les baromètres portatifs? On en trouve aujourd'hui par tout.

Mr. de P. Excepté pourtant sur la cime des montagnes couvertes de neiges éternelles, où le Phy-

sicien a besoin de faire des observations, soit pour quelque objet de sa science, soit pour mesurer la hauteur des montagnes.

Le Comte C. Ce chapitre de la mesure des hauteurs au moyen du baromètre est un sujet bien intéressant et beaucoup travaillé de nos jours.

Mr. de P. Permettez moi de réserver la théorie de cette belle application du baromètre pour la suite, lorsque nous en serons à la *Physique de la terre*, et de terminer cet article par les trois observations suivantes:

Le vide ac au dessus du mercure, qu'on nomme le vide de Torricelli, n'est pas un vide parfait. Il se dégage toujours du mercure un peu de l'air qui y est contenu et qui se loge dans ce vide; son élasticité est un petit contrepoids à la pression de l'air et fait parconséquent baisser le mercure, d'une à deux lignes. On l'en dégage en échauffant le mercure et le tube jusqu'à l'ébullition du mercure, ayant soin de laisser sortir les bulles d'air qui se forment par cette ébullition. Au reste le contact de l'air et du mercure à la partie inférieure du baromètre rammène petit à petit l'air dans le vide. L'affinité fait marcher les particules d'air le long de la colonne de mercure, en sorte que l'on peut dire qu'à la rigueur un baromètre n'est jamais égal à lui-même.

Le baromètre ne sert pas uniquement à mesurer la pression de l'atmosphère, mais aussi à mesurer immédiatement l'élasticité d'un gaz renfermé dans un vase, comme nous le verrons à l'article de la pompe pneumatique. Aussi doit-on le regarder proprement

comme un élatéromètre plutôt que comme un *baromètre*, qui dans le sens littéral du mot, veut dire mesure de la pesanteur.

Enfin la vraie hauteur du mercure dans le baromètre est toujours un peu plus grande que la hauteur observée, à cause de la dépression que cause la capillarité. Cette dépression équivaut à un peu plus de $1\frac{1}{4}$ deligne pour un tube de 1 ligne de diamètre, dans un tube plein d'air. Mais dans le vide de Torricelli elle est beaucoup moindre. Lorsque ce vide est aussi parfait que possible elle est non seulement tout-à-fait nulle, mais même le mercure monte tant soit peu au dessus de son niveau et offre une surface un peu concave.

Vingtième entretien.

Mr. *de P.* Après avoir fixé les principes de la pesanteur et de l'élasticité des fluides aériformes, nous lierons leur développement à différents appareils dont l'effet nous donnera une idée juste et facile à saisir de la manière dont les fluides et surtout l'air atmosphérique agissent. Commençons par le *ballon aérostatique.*

Mr. de L. Le triomphe de la légèreté!

Mr. de G. En effet cette invention brillante ne cadre pas mal avec la frivolité du dix huitième siècle.

Mr. de P. Eh! Messieurs! Comme vous allez vîte en besogne! Passe pour la frivolité morale de ce siècle que vous attaquez. Mais quant aux sciences physiques, j'espère que vous voudrez bien tant soit peu lui faire grâce. Il a éclairé les dernières années de Neuton, a donné le jour à Lavoisier, a vu fleurir la Place et formé Humboldt, sans compter tant d'autres noms illustres que je pourrois ajouter à ceux-ci.

Le premier ballon aérostatique qu'on a fait n'avoit tout au plus que deux pouces de diamètre.

Mr. de T. De quelle matière étoit donc l'enveloppe?

Mr. de P. D'eau de savon. Ce fut le Physicien

anglois Cavallo qui le premier fit cette expérience, en 1766, avec le gaz inflammable ou hydrogène, peu après qu'on en eut découvert la grande légéreté, et ce fut la première fois qu'on vit un corps s'élever librement et de lui-même dans l'air, le crépuscule d'une découverte à la quelle le genre humain avoit travaillé depuis les tems fabuleux de Dédale jusqu'à nos jours, celle de voyager dans l'air. Mais c'est aux frères Montgolfier, fabricans de papier à Annonay en Vivarais, que nous devons l'invention de l'aérostat en grand, les Physiciens qui l'avoient précédé dans ce travail ayant abandonné l'espoir d'y réussir par ce qu'ils se restraignoient dans leurs expériences à l'emploi du gaz hydrogène, qui ne peut être contenu dans des enveloppes de papier ou de toile. Les frères Montgolfier employèrent l'air atmosphérique dilaté par la chaleur et réussirent.

Mde. de L. Vous nous parlez, Monsiaur *de P.*, des aérostats comme si nous en connoissions déjà les principes. C'est surement le cas de ces messieurs; mais moi, pauvre ignorante, je ne vous comprendrai pas.

Mr. de P. Vous êtes bien bonne, Madame, de me rappeller à l'ordre avec tant de douceur et de modestie. Je vais vous obéir.

Mr. de V. Et nous autres, nous profiterons tout bonnement de la modestie de Madame *de L.* sans faire étalage de la nôtre.

Mr. de P. Si un corps doit s'èlever de lui même dans l'atmosphère, il faut qu'il soit plus léger que l'air qu'il déplace. Nous ne connoissons aucune corps solide et aucun liquide qui ait cette propriété. Il faudra

donc composer au corps creux, et le remplir d'un autre air plus léger; car si l'air intérieur étoit aussi pesant que l'extérieur, il seroit à lui seul en équilibre avec l'atmosphère et il nous manqueroit la force pour enlever l'enveloppe. Si le gaz intérieur et l'enveloppe ensemble pèsent autant que l'air atmosphérique qu'ils déplacent, nous aurons équilibre et par conséquent pas encore d'ascension. Montgolfier (c'est apparemment l'ainé des deux frères qui fut le vrai inventeur; car il s'est distingué depuis comme membre de l'institut national de France par divers travaux en Physique) Montgolfier imagina que de l'air chauffé et parconséquent raréfié pourroit fournir un excédent de force capable d'enlever une enveloppe de papier ou de taffetas; et cela lui réussit, en 1782, avec un parallélipipède qui ne contenoit que 40 pieds cubes, sous le quel il alluma du papier. L'expérience fut bientôt répétée avec un ballon de 650 pieds cubes, et l'année suivante, à Avignon, les deux frères eurent la satisfaction de faire monter en présence des Etats du Vivarais un aérostat en toile, de 35 pieds de diamètre, dont l'enveloppe pesoit 450 livres et qu'on put charger encore de près de 400 livres. Il s'éleva en 10 minutes à environ 1000 Toises de hauteur, et le problème se trouva parlà résolu en grand.

Mde. de L. Il paroit d'après ces expériences qu'on gagne beaucoup à faire de grands ballons.

Mr. de P. Assurément, Madame; car la for
qui est proportionelle au volume du ballon, augm
en raison du cube des diamètre ls, qui
proportionel à la surface de l' 'aug

qu'on raison du carré des diamètres. Ainsi en supposant les enveloppes de même poids par pied carré, le surplus de légèreté ou la force d'ascension augmente en raison directe des diamètres.

Les frères Montgolfier répétèrent leur expérience à Paris avec un aérostat de 57 pieds de hauteur et de 41 pieds de diamètre contenant un volume de 37500 pieds cubes, et lui firent enlever une corbeille lestée d'un mouton, d'un canard et d'un coq qui, au bout de 8 minutes, revinrent en parfaite santé de ce voyage aérien. Mais les Montgolfiers avoient été prévenus dans cette expérience brillante par le professeur de Physique Charles; la renommée ayant bientôt porté la nouvelle de l'expérience d'Avignon jusqu'à Paris. Ce Physicien composa de taffetas enduit de résine élastique l'enveloppe de son ballon qui fut par là mise en état de contenir du gaz hydrogène. Ce ballon avoit 12 pieds 2 pouces de diamètre et ne pesoit que 25 livres. Il monta au champ de mars, un mois avant l'arrivée des Montgolfiers à Paris.

Ainsi, un an après la première invention, la Physique produisit deux espèces d'aérostats, l'une nommée Montgolfière et remplie d'air atmosphérique chauffé, et l'autre remplie de gaz hydrogène.

Mde. de L. Le gas hydrogène doit être plus cher que l'air ordinaire échauffé et le taffetas enduit de résine élastique plus que la toile. Ainsi la manière de Montgolfier me paroit préférable.

Mr. de P. Néammoins on l'a presque abandonnée. On ne fait plus guères aujourd'hui de ballons de cette espèce. Cela vient de ce que l'on gagne beaucoup en

force lorsqu'on emploie le gas hydrogène. L'air atmosphérique chauffé autant qu'on le peut, dans ces expériences, n'acquiert qu'au plus le tiers en sus de son volume naturel et ne fournit parconséquent qu'un quart du poids de l'air atmosphérique pour force d'ascension, c. à. d. environ ¼ once par pied cube; au lieu que le gaz hydrogène qu'on emploie ici (car on ne peut pas lui donner toute sa pureté dans ces expériences en grand) est 7 fois moins pesant que l'air atmosphérique et fournit parconséquent une force de 1½ once par pied cube.

L'aérostat une fois inventé, il se trouva bientôt des Physiciens hardis qui s'élevèrent dans l'air, portés par une gondole suspendue au ballon, et depuis ces ascensions sont devenues un objet de curiosité pour le public, lucratif pour des personnes qui ont courru le monde dans les deux hémisphères avec leur ballon.

Mr. de R. Je ne puis blâmer la curiosité du public à cet égard et je me souviendrai toute ma vie du sentiment vif mêlé de crainte et d'admiration qui me saisit au moment où je vis deux hommes s'élancer librement de la surface de la terre et se perdre dans les nues. Quoiqu'on en dise, ce phénomène frappe fortement l'imagination et sa découverte fait honneur à l'esprit humain.

Mr. de P. Je ne crains pas le reproche de frivolité en souscrivant à votre avis; tout Physicien que je suis, j'avoue avoir senti la même émotion que vous; et notre Général, quelque froideur qu'il affecte, ne la désavouera pas.

6

Mr. de L. Pourquoi la désavouerois-je? Je suis sur que sur les millions d'hommes qui ont vu cette expérience il n'en est pas un seul qui n'ait éprouvé ce sentiment. Mais il est fâcheux qu'une si belle découverte ne serve à rien.

Mr. de P. La Physique en a déjà tiré quelques avantages par une ascension que Biot et Gay-Lussac ont faite pour des recherches sur l'atmosphère à de grandes hauteurs et loin des montagnes; et je prédis que le ballon aérostatique deviendra un jour le char qui conduira des Physiciens au Pôle pour y faire des observations sur l'aimant, l'électricité, la chaleur les aurores boréales, les glaces polaires &c. Il effectuera ce que les Anglois et les Russes ont cherché en vain par mer, le voyage au Pôle. En outre l'aérostat a servi comme machine de guerre.

Mr. de G. Il a servi une fois, à la bataille de Fleurus, où je me suis trouvé et l'on a prétendu, il est vrai, que c'est le ballon qui a fait gagner cette bataille à l'armée républicaine en lui trahissant tous les détails de la position de l'ennemi. Mais depuis il n'a plus servi et Bonaparte que vous regardez, surement aussi bien que moi, comme un des plus grands Généraux de tous les siècles, en a aboli l'usage.

Mr. de L. Et c'est précisément ce qui prouve l'utilité immense de l'aérostat à la guerre. Un grand capitaine est celui qui par des manoeuvres cachées sait donner le change à son ennemi, qui calcule ses propres dispositions sur celles de son adversaire et qui tire le meilleur parti du terrain occupé par les deux armées. Si les ballons étoient introduits dans l'art mi-

litaire, toutes ces subtilités cesseroient, par ce qu'une finesse découverte cesse d'être une finesse. Bonaparte, qui sentoit sa supériosité, qui craignoit de la voir annullée par les aérostats que ses ennemis eussent tout aussi bien admis que lui; qui en outre étoit sur que les autres puissances auroient la bonté de l'imiter, abolit l'usage de l'aérostat pour se conserver la supériorité de la russe et prouva parlà plus que par aucune de ses victoires qu'il étoit en effet un grand Capitaine.

Mr. de P. Je suis de l'avis du Général et cela sans prédilection pour l'aérostat; mais en ami de l'humanité. Je voudrois voir les aérostats aux armées pour faire de l'art militaire ce qu'il doit être, un combat de l'héroïsme et de l'amour de la Patrie, où les grandes vertus ne succomberoient plus sous les artifices de la ruse, où la valeur et la force nationale, et non les espions, décideraient du sort des Empires, parce que la vraie valeur et la vraie force sont toujours du côté de la justice. — Mais retournons à la Physique.

La plus grande hauteur mesurée à la quelle on se soit élevé avec le ballon est de 3580 T., c. à. d. plus de 200 toises plus haut que la cime du Chimborasso, et Madame *de L.* me demandera peut-être pourquoi on n'a pas atteint une plus grande hauteur.

Mde. de L. En effet; il semble qu'un ballon devroit monter jusqu'aux confins de l'atmosphère.

Mr. de P. Et cela auroit lieu si notre atmosphère avoit la même densité ou pesanteur spécifique à toutes les hauteurs. Mais sa densité diminue de bas en haut si considérablement qu'au sommet du Montblanc, qui a 2400 toises de hauteur, le baromètre ne se sou-

tient qu'à 16 pouces, tandis qu'il est à 27 pouces à Genève.

L'air étant pesant et élastique il pèse sur lui-même et se condense par son propre poids; ainsi la condensation doit être à son maximum dans les lieux les plus bas, parce qu'une couche de l'air inférieur supporte le poids de toutes les supérieures et que plus on s'élève moins il y a de couches à supporter, et parconséquent moins d'élasticité et de densité. Ainsi le ballon en s'élevant arrive successivement dans des régions d'air de plus en plus dilatées ou moins denses et doit par conséquent trouver enfin une couche dont la pesanteur spécifique fasse équilibre à la sienne.

Mr. de T. N'a-t-on pas résolu le problème de la direction des aérostats?

Mr. de P. Non, par ce que le problème est proprement insoluble, les rames n'ayant pas l'énergie nécessaire et tous les autres moyens imaginés étant impraticables en théorie comme en pratique.

Passons de la grande masse des aérostats à un petit instrument qui a le nom singulier de *Larron* et la figure que je vous dessine, un tube renflé à un point quelconque de sa longueur en forme de boule ou de poire (fig. 18). On s'en sert pour enlever une portion de liquide sans pancher le vase dans le quel elle est contenue, en plongeant le bout b dans la liqueur et en suçant au bout a. L'air contenu dans l'instrument par l'action du poumon et la pression de l'atmosphère sur la surface de la liqueur dans le vase, force la liqueur de monter dans le larron et de remplir plus ou moins le creux cd. Cette pression qui supporte plus de 30

pieds d'eau lorsque l'atmosphère n'est pas contrebalancée, effectue aisément cette ascension jusqu'à la hauteur de quelques pouces ou même de quelques pieds; et pour transporter la liqueur, on ferme l'orifice supérieur a au moyen de la langue; après quoi on retire l'instrument du vase sans que la liqueur soutenue par la pression de l'air sur l'orifice étroit b puisse s'écouler. Lorsqu'en suite on ouvre l'orifice a, alors l'eau, pressée également en a et en b par l'atmosphère, s'écoule dans le vase où l'on vouloit l'avoir. Cet instrument sert en outre à verser une liqueur goutte à goutte. Car si on ferme avec le pouce l'orifice supérieur du larron rempli et qu'on l'ouvre tant soit peu, il s'échappera à chaque reprise une goutte de la liqueur.

Mr. de T. Voudriez-vous bien, monsieur *de P.*, nous dire comment le poumon agit dans l'opération du larron; cela nous rendrait compte de la manière dont nous suçons . . . . .

Mr. de P. Qui est la même que celle que nous employons pour respirer. Le poumon est un composé d'une infinité de petits vases vésiculaires qui communiquent entre eux, et avec la cavité de la bouche au moyen d'un canal nommé la trachée-artère. Quatre muscles vigoureux dilatent et compriment tour à tour la cavité de la poitrine dans la quelle se trouve le poumon. La dilatation fait que le poumon se dilate de même par l'action de l'air extérieur qui presse par la trachée-artère sur l'air des vésicules du poumon et les gonfle; c'est ce que nous nommons aspirer. La compression de la poitrine comprime l'air des vésicules, augmente son élasticité et le force par là de sortir du

poumon le long de la trachée-artère; c'est ce que nous appelons l'expiration. Un soufflet ordinaire nous offre une image grossière mais vraie de cette double opération de la Nature qui est une des principales opérations vitales.

Sucer c'est aspirer tandis qu'on a fermé la bouche autour de l'orifice d'un vase qui contient de l'air ou un autre fluide. La dilatation qui a lieu dans le poumon, la trachée-artere et le palais de la bouche, se communique au vase et donne à la pression extérieure de l'atmosphère un surplus de pression sur l'air dilaté et force les liqueurs à monter dans le tube dont on se sert pour sucer.

Mais nous avons un instrument qui suçe sans interruption et sans poumons.

Mr. de T. Le soufflet pourroit faire cet effet.

Mr. de P. Assurément et le Physicien anglois Hales l'a employé pour sucer l'air gâté d'un vaisseau et en introduire de pur, en sorte que ce soufflet fait pour une ou plusieurs chambres l'effet d'un poumon. Mais ce n'est pas ce dont je voulois parler.

Voyez ce tuyau courbé que je vous dessine (fig. 19).

Mr. de T. C'est le *syphon*, qui sert à vider un vase sans le pancher, et par un écoulement continu.

Mr. de P. Et cet écoulement est une succion. Si nous remplissons le tube d'eau et en plongeons sa branche courte dans un vase plein d'eau, l'eau s'écoule par l'orifice e jusqu'à ce que le niveau dans le vase soit baissé jusqu'en a.

Mde. de L. C'est une jolie manière de soutirer une portion de liquide sans la troubler et à la profon-

deur que l'on veut; car j'imagine que si on soulève le syphon en sorte qne son bout a soit à une moindre profondeur on fera écouler moins de liqueur. Veuillez nous expliquer ce mécanisme.

Mr. de P. Volontiers. Considérons d'abord l'eau qui se trouve dans la branche courte depuis l'orifice a jusqu'au niveau de l'eau. Cette colonne ab se trouve en équilibre avec le reste de l'eau du vase et ne contribue pas à l'écoulement. Imaginons le plan du niveau de l'eau prolongé en f hors du vase, en sorte qu'il passe en d par la branche longue du syphon; il est clair que nous ponvons considérer la masse d'eau contenue dans la partie bed du tube comme composée de deux colonnes de même base et de même hauteur. Ainsi de e jnsqu'en d nous avons équilibre de l'eau dans le vase et dans le tube, et il ne nous reste plus que la colonne de à laquelle nous ne trouvons aucun contrepoids. Elle doit donc tomber en vertu de sa pesanteur. Mais en tombant, en se séparant en d du reste de l'eau du syphon, il se formeroit en d un vide.

Faisons à présent entrer la pression de l'atmosphère dans notre calcul. Elle a lieu d'un côté à la surface de l'eau du vase et de l'autre côté à l'orifice e du tube, ainsi ses effets sont compensés; l'eau de la colonne de n'est pas supportée par cette pression; au contraire, celle qui a lieu en e est diminuée par le poids de cette colonne d'eau, et la pression opposée de l'air gagne le dessus sur elle. Ainsi la colonne d'eau ed tombera librement et la pression de l'air à la surface de l'eau du vase fera suivre l'eau dans le syphon avec une force égale à une colonne d'eau de la hauteur de.

Le jeune de L. Aprésent je vois pourquoi la branche extérieure du syphon est plus longue que l'intérieur.

Mr. de P. Cela n'est pas nécessaire à la rigueur; elle peut même être plus courte et se terminer par ex: en g. Il suffit pour produire l'écoulement que l'orifice de la branche extérieure se trouve plus bas que le niveau de l'eau dans le vase. Mais plus il se trouve abaissé, c. à. d. plus la branche extérieure du syphon est longue, plus l'écoulement est rapide parce que la pression de l'atmosphère sur l'eau du vase a un surplus de force proportioné à la hauteur f e.

La *fontaine de Héron* est une jolie expérience au moyen de la quelle on produit un jet-d'eau qui s'élève au dessus du réservoir qui le nourrit, contre la construction ordinaire des jets-d'eau, dont le réservoir doit toujours se trouver un peu au dessus de la hauteur à laquelle le jet-d'eau doit s'élever. Cet instrument est composé tout simplement de deux vases de volumes égaux qui ferment bien exactement, de deux tuyaux et de l'ajutage du jet-d'eau. En voilà une figure (fig. 20). Le vase supérieur A est surmonté d'un rebord qui forme une cuvette BB. Du fond de cette cuvette passe un tuyau a b, ouvert par les deux bouts, au travers du vase A; entre dans le vase inférieur C et s'étend jusques près de son fond. De la partie supérieure du vase C s'élève le tuyau d c, ouvert par les deux bouts et traversant le vase A jusques près du fond de la cuvette. Enfin le tuyau f, placé au milieu de la cuvette et du vase A, forme, en se terminant en une pointe conique, l'ajutage du jet d'eau. e est une ou-

verture qui sert à remplir d'eau le vase A et qu'on ferme aussitôt que cette opération est faite.

Le problème est de forcer l'eau du vase A à former le jet-d'eau. Pour cet effet il suffit de remplir la cuvette d'eau à demi; aussi tôt le jet-d'eau se forme et ne cesse que lorsque le vase A est vidé par cette dépense. Car dès qu'on versé de l'eau dans la cuvette, elle s'écoule par le tuyau ab dans le vase inférieur et y comprime l'air avec une force égale à la colonne d'eau ab. Cet air comprimé s'échappe par le tuyau dc et comprime avec la même force l'eau du vase A qui est forcée parlà de monter dans le tuyau f et de former le jet-d'eau. Cette eau, qui s'élance par l'ajutage, retombe dans la cuvette et fournit pour tout le tems de l'expérience l'eau de pression; et à la fin le vase A se trouve vide et le vase C plein.

Ce joujou physique peut gagner de l'importance en le forçant de faire monter l'eau du vase A à la hauteur du jet d'eau, c. à. d. à devenir une espèce de pompe.

Mr. de T. Ceci devient sérieux. Une pompe! C'est mon fait.

Mr. de P. Il suffit pour cela d'adapter à la place de l'ajutage un tuyau de la hauteur du jet d'eau; la même force, qui lançoit l'eau en forme de jet, l'élèvera paisiblement dans le tuyau à la même hauteur et produira un écoulement disponible. Seulement il faudra nourrir la cuvette pour qu'elle fournisse l'eau de pression.

Mr. de T. Assurément, car pour avoir un effet continu il faut une force continue et c'est à quoi ser-

vent les réservoirs et les sources. Cette espèce de pompe est bien ingénieuse et, à ce que je crois, très profitable; car si on a une source ou réservoir à 6 pieds de hauteur au dessus du niveau par ex. d'une fabrique à eau de vie, on peut faire monter l'eau à 12 pieds au dessus de ce niveau, sans aucun travail et avec une perte d'eau précisément égale à la quantité d'eau qu'on élève. C'est dommage que, lorsque le vase A est vide et le vase C plein, il faut vider celui-ci et remplir celui-là.

Mr. de P. Cette peine est bien petite et je suis parvenu à perfectionner cette machine, de manière à ce qu'elle monte l'eau encore plus haut.

Mr. de T. Comment cela?

Mr. de P. Supposez un second appareil semblable, à gauche de celui-ci, et que les deux vases supérieurs communiquent entre eux par le haut au moyen d'un tuyau courbé, et que l'ajutage ou le tuyau montant de l'un soit supprimé, l'eau sera pressée dans le premier appareil par une double force et montera à une hauteur double au dessus de B. J'ai même triplé cet appareil et obtenu une hauteur triple. Ainsi cet appareil triple, dans votre supposition que la source soit à 6 pieds de terre, fournira l'eau à une hauteur de 18 pieds au dessus de la source ou à 24 pieds au dessus de terre, et la dépense d'eau sera le triple d'auparavant.

Cette machine hydraulique a encore un grand avantage sur toutes les autres, celui de durer aussi longtems que les matériaux dont elle est composée,

parce que, comme rien ne se meut dans cette machine que l'eau et l'air, il est clair que rien ne s'use.

Mr. de T. A-t-on exécuté cette machine en grand?

Mr. de P. Non, par ce qu'on n'a considéré la fontaine de Héron, cette invention d'un Physicien de l'ancienne Grèce, que comme au joujou.

Puisque nous en sommes aux joujous je vais vous en décrire un qui n'est guères autre chose, la *fontaine intermittente.* Suivez la pointe de mon crayon (fig. 21). Voilà un vase A ordinairement de verre, à peu près sphérique. On lui donne un col de ferblanc renflé à lapartie inférieure et muni de plusieurs petits tubes ou ajutages d, d par les quels l'eau, dont on a rempli le vase, peut s'écouler en forme de petites fontaines. Un tuyau ab passe autravers de ce col où il est vissé de manière à ne rien laisser passer entre lui et le col. Ce tuyau est assujettti sur une cuvette gf qui a un petit tuyau d'écoulement e, et qui est elle-même assujettie sur une autre cuvette hi. Le tuyau ab a d'un côté un trou c qui donne passage à l'air et forme une communication entre l'atmosphère et le vase A.

Supposons le vase A rempli d'eau, si l'ouverture c est fermée, l'eau ne pourra pas s'écouler par les ajutages d, d, parce que l'atmosphère supporte par sa pression en d l'eau du vase. Mais si nous ouvrons le trou c, alors nous établissons une pression égale sur la surface de l'eau en a. Donc les petites fontaines couleront, ce qui a toujours lieu au commencement de l'expérience, car on ne tient pas l'ouverture c fermée, Mais cette eau écoulée s'accunule dans la cuvette gf et

finit par boucher le trou c et par monter dans le tuyau jus'qu'à la hauteur ck égale à la hauteur ud de l'eau dans le le vase A. Alors tout est en équilibre et l'écoulement cesse; c'est la première intermittence qui ne peut finir que l'orsque le trou c se r'ouvre; ce qui arrive bientôt, le petit tuyau e permettant à l'eau de la cuvette gf de s'écouler dans l'inférieure. Dès que l'eau en gf a baissé en sorte de laisser l'accès libre à l'air en c, alors l'écoulement recommence et finit en suite pour recommencer de même. Pour établir ce jeu il suffit d'avoir soin que l'écoulement en e soit toujours plus lent que la somme des écoulement en d, d, afin que l'ouverture c puisse se ferme.

Mr. de R. C'est un très joli phénomène.

Mr. de L. C'est une image de la fièvre, une vraie fièvre hydraulique qui n'a pas l'honneur de me plaire.

Mr. de P. Je m'en doutois, Général! Aussi vous épargnerai-je la description de plusieurs autres petites drôleries physiques, telles que l'entonnoir magique qui fournit du vin ou de la bierre quand on l'a rempli d'eau, le gobolet qui, porté aux lèvres, arrose le buveur &c.

Vingt et unième entretien.

Mde. *de L.* De quoi nous parlerez vous aujourd'hui, Monsieur *de P.*?

Mr. de P. D'un appareil bien important, Madame, de la *pompe pneumatique*, dont l'usage est si étendu et varié qu'on doit la regarder plutôt comme appartenante à toute la Physique qu'à une branche particulière de cette science. Aussi n'est-il pas d'appareil qui ait varié davantage de forme intérieure et extérieure, que l'on ait tant perfectionné et tant détérioré. Je vais avoir l'honneur de vous en décrire la construction la plus simple, celle qui aujourd'hui est le plus généralement en usage.

Le cylindre creux abcd (fig. 22.) que je vous dessine est ce qu'on nomme le corps de pompe. Le cylindre solide c s'appelle le piston, la barre cg est la branche du piston. Le corps de pompe est travaillé bien exactement dans son intérieur en sorte qu'il soit partout bien cylindrique et de même diamètre, afin que le piston qu'on y introduit avec force ferme bien et ne laisse aucun passage à l'air entre sa surface et celle du corps de pompe. Le corps de pompe est fermé à sa base inférieure par une forte plaque be de laiton per-

cée à son milieu d'un petit trou qui forme l'orifice d'un tuyau courbé hki qui se termine par son orifice supérieur à la grande plaque de laiton lm usée à l'émeril en sorte qu'elle soit bien droite sur tous les sens, bien unie, mais pas polie. Cette assiette on platine reçoit la cloche A de verre, dont les bords, également usés à l'émeril, touchent partout l'assiette et y sont attachés par un peu de graisse dont on les enduit afin de fermer tout passage à l'air. La cloche A est l'espace dans le quel le vide doit se faire.

Supposons que le piston soit abaissé jusques sur la base du corps de pompe, si on le fait remonter en tirant sa branche de bas en haut, il est clair qu'il se fera un vide sous le piston et que l'air de la cloche, en vertu de son élasticité, s'étendra sous le piston et se dilatera à mesure que le piston montera. Supposons que l'espace contenu dans la cloche, y compris celui du tuyau de communication, soit de 500 pouces cubes et l'espace rendu vide par la marche du piston de 100 pouces cubes, il est clair que l'air, qui occupoit auparavant 500 pouces et à présent en occupe 600, se trouve dilaté de $\frac{1}{6}$.

Mais cette dilatation seroit utile à bien peu de chose, si elle ne pouvoit être poussée plus loin. Pour cet effet il faut répéter cette dilatation sur le même air. Mais si on enfonce le piston, alors le même volume d'air retournera dans la cloche et reprendra sa densité primitive.

Pour empêcher ce retour et rendre une seconde succion possible, le tuyau de communication est, à sa sortie du corps de pompe, interrompu par un robi-

[redacted] ne pas me
[redacted] tomistes de
[redacted] tout ce sys-
[redacted] ne suffisant
[redacted] e m'en suis
[redacted] arties dans
[redacted] e borner à
[redacted] rdire tout
[redacted] ıx quels je
[redacted] saire.

[redacted] ıt le corps,
[redacted] nes et dans
[redacted] ır apporter
[redacted] lui-même
[redacted] ecevoir de
[redacted] sa circula-
[redacted] tte dernië-
[redacted] ription de
[redacted] digestion;
[redacted] le d'appor-
[redacted] e organisa-

[redacted] ont et doi-
[redacted] es dans les
[redacted] ystème des
[redacted] trouve ac-
[redacted] extérieu-
[redacted] des veines
[redacted] iés vers le
[redacted] ion.

Mr. de P. Pardon, Madame, nous sommes bien loin de notre compte. Cela supposeroit que chaque coup de piston, sous les proportions que j'ai supposées, enlevât $\frac{1}{6}$ de tout l'air qui se trouvoit primitivement sous la cloche, et c'est ce qu'il ne fait pas; car il n'enlève que $\frac{1}{6}$ de l'air qui est resté. Imaginez, Madame, un bout de fil dont vous coupez d'abord $\frac{1}{6}$ de toute sa longueur, puis $\frac{1}{6}$ du reste, puis $\frac{1}{6}$ du nouveau reste, et ainsi de suite; il est clair qu'il vous restera toujours un bout de fil qui sera $\frac{5}{6}$ du dernier reste.

Mde. de L. Cela est clair et j'aurois du moi-même faire ce calcul si simple. Ainsi donc la pompe pneumatique ne peut pas produire un vide parfait et il doit toujours rester un bout de fil, mais qu'on peut rendre aussi petit qu'on veut.

Mr. de P. Permettez moi de dire: aussi petit qu'on *peut.* Il est vrai que le calcul est favorable à votre opinion, Madame; car si on exécute cent coups de piston le reste de l'air contenu dans la cloche sera, dans la proportion admise, $\frac{5}{6}$ multiplié cent fois par lui-même et parconséquent une bien petite fraction, qui équivaut à peine à la huit cent millioniéme partie de l'air contenu primitivement dans la cloche et que nous pourrions regarder comme nulle. Mais malheureusement les meilleures pompes pneumatiques ne dilatent l'air ordinairement que jusqu'à sa trois cent trente sixième partie. La plus grande dilatation qu'on ait jamais opérée ne va qu'à $\frac{1}{1000}$.

Mde. de L. Doù vient cela?

Mr. de P. D'abord de ce que ni le piston ni le robinet ne ferment avec une exactitude parfaite, puis

de ce que la surface inférieure du piston et la supérieure de la plaque bc ne se touchent pas absolument en tous points et que le petit bout de tuyau depuis son orifice h jusqu'au robinet contient encore de l'air. Cet air contenu entre le piston et le robinet a toujours au moins la densité de l'atmosphère lorsque le piston est abaissé et se trouve dans le cas d'une cloche pleine d'air qu'on voudroit dilater sans l'opération du robinet. Enfin la pompe devant être dans toutes ses parties intérieures enduite d'huile d'olives, qui contient toujours de l'air et de l'humidité, ces deux fluides se dilatent à chaque coup de pompe et se déploient sous la cloche.

Mr. de T. Mais comment mesure-t-on l'élasticité ou la densité de l'air raréfié dans la cloche?

Mr. de P. Imaginez qu'on ait un tube de baromètre no, dont l'ouverture supérieure n communique avec l'intérieur de la cloche et l'inférieure o plonge dans un petit vase plein de mercure, il est clair que l'élasticité, diminuant en A, laisse à la pression de l'atmosphère sur le mercure en o un surplus de force qui fait monter le mercure dans le tube et que la hauteur de cette ascension sera la mesure de ce surplus. Une observation du vrai baromètre donnera la différence de hauteur des deux colonnes de mercure, différence qui exprimera l'élasticité de l'air contenu sous la cloche.

Pour les cas où l'on opère une grande dilatation et où le baromètre que je viens de décrire seroit incommode (on ne l'employe que pour les pompes pneumatiques stationnaires) nous avons un autre Élatéromètre

bien plus commode, que je vais vous dessiner (fig. 27). abd est un tube de verre recourbé en sorte que ses branches, longues chacune d'environ 4 pouces, soient parallèles et fixées sur un pied ee. L'un des bouts a est ouvert, l'autre d est fermé et on remplit le tube de mercure à un peu plus de moitié. On le fait bouillir pour le purger d'air comme un vrai baromètre. Supposons que l'instrument soit ainsi placé dans l'air; le mercure renplira la colonne dbc. Si on le place sous la cloche et qu'on raréfie l'air, il est clair que lorsque la dilatation sera telle que l'élasticité de l'air de la cloche ne puisse plus soutenir la colonne de mercure de la hauteur cd, le mercure se détachera en d du haut du tuyau et montera dans l'autre branche. La différence de niveau indiquera à une échelle, qu'on fixe entre les deux branches, l'élasticité de l'air contenu sous la cloche.

On a coutume de placer à demeure ce petit instrument hors de la cloche, en lui donnant une troisième branche af qu'on visse à l'extérieur à un tuyau qui communique avec la cloche, et par là on ne perd pas pour ses expériences l'espace que l'instrument occuperoit sous la cloche.

Je dois encore vous dire comment on fait monter et descendre le piston d'une manière commode au moyen d'une espèce de cric. Sa branche cg (fig. 22) est dentée sur toute sa longueur et ses dents engrennent dans une roue dentée a (fig. 23), à l'axe de laquelle se trouve un levier ad, ou une simple manivelle si la pompe est petite. En faisant tourner la roue al-

ternativement à droite et à gauche on fait descendre ou monter le piston.

Mr. de T. Et à chacun de ces mouvemens il faut tourner le robinet d'un quart de cercle.

Mr. de P. Assurément et c'est un désagrément. Aussi a-t-on une autre espèce de pompe, la pompe à soupapes, qui épargne cette peine et fait en outre gagner le tems que l'autre fait perdre à abaisser le piston. Je vais vous la décrire. Prenons le crayon.

Voilà le corps de pompe (fig. 25) semblable à celui de l'autre pompe. b est une plaque épaisse de laiton dans laquelle on a pratiqué le canal étroit e d qui se termine à la partie supérieure de la plaque et peut être fermé et rouvert par la petite plaque a qu'on nomme soupape et qui est mobile au moyen d'un morceau de cuir qui la recouvre à sa surface inférieure et est fixé d'un côté à la grande plaque qui sert de base au corps de pompe.

Le piston est percé dans toute sa hauteur d'un petit trou ou canal qui est également recouvert d'une soupape c semblable à l'autre a. Pour laisser un libre jeu à cette seconde soupape la tige du piston est partagée en deux branches qui forment une espèce d'étrier.

Supposons à présent que l'on enfonce le piston, il est clair que l'air au dessous de lui se trouvera comprimé et que la soupape a qui tombe naturellement par son propre poids sera pressée contre l'orifice du canal et la fermera bien exactement. Mais cet air comprimé entre le piston et la base du corps de pompe, et par conséquent plus élastique que l'air extérieur, au dessus

du piston, soulèvera la soupape c et se fera jour par le petit canal du piston.

Le piston étant abaissé jusqu'à la base de la pompe, si on le remonte il raréfiera l'air qui se trouve encore sous lui et parconséquent celui du canal e d qui soulèvera la soupape a, tandis que la soupape c, comprimée par l'air extérieur, fermera son petit canal et ne laissera pas passer d'air sous le piston. Ainsi si le canal e d se trouve en communication avec la cloche de verre, il est clair que l'air contenu sous la cloche se raréfiera en s'étendant sous le piston, et dès que celui-ci aura atteint sa plus grande hauteur, la soupape a se refermera, et si on rabaisse le piston, l'air que sa première montée a amené sous lui s'échappera en soulevant la soupape c et l'on pourra ainsi renouveller la dilatation aussi souvent qu'on voudra.

Mr. de T. C'est le mécanisme des pompes ordinaires dont on se sert pour monter de l'eau, et il suffit pour cela de placer le canal e d (fig. 25) ou h k i (fig. 22) dans une situation verticale et le faire plonger dans l'eau.

Mr. de P. Assurément. Au reste la pompe pneumatique n'a pas des soupapes du genre de celles que je viens de décrire et qui seroient beaucoup trop lourdes pour notre but; car pour les mettre en jeu il faut que l'élasticité de l'air de la cloche les soulève et quand leur poids est considérable (et il le seroit ici supposé qu'il ne montat qu'à 10 grains) l'air de la cloche pressé par ce poids conserve une élasticité qu'on ne veut pas lui laister. Les soupapes des pompes pneumatiques sont formées d'un simple morceau de peau de bau-

druche, ou de vessie ou de taffetas enduit de gomme élastique, qui est fixé par ses quatre angles alongés sur une plaque percée à son milieu, en sorte que la moindre force appliquée de bas en haut le soulève tant soit peu et laisse échapper l'air de côté, et la même force appliquée de haut en bas ferme l'ouverture de la plaque (fig. 26).

Mr. de G. Cela est ingénieux et cette nouvelle espèce de pompe me plait davantage que l'autre, son maniement étant plus facile.

Mr. de P. Elle vous plaira davantage encore si vous supposez que nous ayons deux corps de pompe dont les tuyaux e d aboutissent à un troisième qui mêne à la cloche, et que le mécanisme décrit (fig. 23) engrenne de chaque côté dans la branche d'un piston; car alors un piston montera quand l'autre baissera et nous aurons une dilatation continuelle de l'air de la cloche sans qu'il soit nécessaire de songer à rien qu'à tourner la manivelle alternativement dans les deux sens.

Mde. de L. Pourquoi, Monsieur *de P.*, nous avez-vous amusés avec la première espèce de pompe, la seconde étant si préférable.

Mr. de P. Jè suis fâché, Madame, si au lieu de vous avoir amusée (comme vous avez la bonté de vous exprimer) je vous ai ennuyée. Mais je le devois parce que la première espèce de pompe est cependant préférable à la seconde.

Mde. de L. Cela est un peu paradoxe.

Mr. de L. Point du tout; et je trouve que la lenteur de l'opération de la première espèce de pompe

cadre parfaitement avec le grand sang froid et la patience de Monsieur *de P.*

Mr. de P. Trève de complimens équivoques sur ma patience, qui, quelque petite qu'elle soit, prend la liberté de se comparer à la vôtre, mon Général.

La pompe à robinet a deux avantages sur la pompe à soupapes. Le premier est qu'on peut pousser la dilatation de l'air à un plus haut degré, surtout si on fait ensorte que le petit canal h (fig. 22) au dessous du robinet ne contienne aucun air lorsque le piston est abaissé, ce qui est faisable en changeant le petit tuyau cylindrique en un cône creux dans lequel s'enfonce un cône solide de mêmes dimensions vissé à la partie inférieure du piston.

Le second avantage est encore plus important. Le Physicien a besoin non seulement de dilater l'air qui est sous sa cloche, mais aussi de le condenser. Or la pompe à soupapes ne le peut pas, mais la pompe à robinet le fait tout aussi bien qu'elle le dilate. Il ne suffit pour cela que de tourner le robinet en sens contraire. Supposez qu'il se trouve dans la position de notre figure (fig. 24) tandis que le piston est abaissé. Si l'on fait monter le piston, l'air extérieur entrera par le canal e c dans le corps de pompe, et si ensuite on tourne le robinet d'un quart de cercle et qu'on enfonce le piston, cet air sucé dans la pompe sera comprimé le long du canal f k i sons la cloche.

Mr. de T. Ce double robinet, qui sert à dilater et à comprimer, est une bien belle invention. Rien ne peut être plus simple et plus sûr.

Mr. de P. Ainsi la pompe à robinet est justifiée.

Mde. de L. Complettement.

Mr. de P. Ce fut aussi une pompe à robinet que le Bourguemaistre Otton Guerike inventa; au reste elle avoit deux robinets simples et celui que j'ai eu l'honneur de vous décrire a été inventé plus tard par un Physicien hollandois nommé Senguerd. En général la pompe pneumatique à éprouvé bien des changemens et bien des complications. On en a été jusqu'à vouloir soulever les soupapes par un mécanisme particulier pour gagner la force que l'air de la cloche doit exercer pour les soulever; mais le remède a été pire que le mal.

On a voulu joindre les robinets aux soupapes pour faire les deux opérations par la pompe à soupapes, et le résultat de toutes ces complications a fourni des machines que l'artiste seul pouvoit posséder parce que personne que lui n'étoit à même de les réparer l'orsquelles étoient gâtées. Mais ce qui vous paroîtra bien singulier, c'est qu'en Angleterre on nomme vide de Boyle le vide que l'on produit par la pompe pneumatique, comme si Boyle et non Guerike étoit l'inventeur de la pompe pneumatique, et les Allemands sont assez bonnes gens pour se servir quelques fois de cette expression. Boyle n'a que le mérite d'avoir adapté le cric que j'ai décrit, pour mouvoir le piston que Guerike faisoit mouvoir à la main, et procuré un peu plus de facilité pour placer des objets dans l'espace à vider d'air, qui alors avoit la figure d'une boule avec un col qu'on vissoit immédiatement sur le corps de pompe, au desus du robinet. Il n'a pas même inventé les cloches dont nous devons la commodité à un françois nommé Papin, Professeur à Marbourg.

Mr. de R. Toute l'Europe a commis la même injustice envers Christophe Colomb en donnant au nouveau continent le nom d'Américus Vespus, qui n'a eu que le mérite de faire quelques pas de plus que son grand prédécesseur.

Mr. de P. Permettez moi, Madame, de vous décrire quelques unes des expériences principales qu'on fait avec la pompe pneumatique, pour vous dédommager de l'attention que vous avez bien voulu prêter à ma double description.

Mde. de L. Bien volontiers. Vous avez planté l'arbre et j'en cueillerai le fruit.

Mr. de P. Qui ne me paroît jamais si doux que lorsque j'ai l'honneur de vous l'offrir.

Je commence par une expérience frappante qui prouve à tous les sens la pression de l'atmosphère, et que nous devons a Otton Guerike. Ce célèbre Bourguemaistre se fit construire deux hémisphères creux de métal, connus depuis sous le nom d'hémisphères de Magdebourg, d'environ 1 pied de diamètre, dont les bords, usés à l'émeril et enduits de graisse, ne laissoient nul passage à l'air; un robinet, fixé à l'une des deux, servoit à faire le vide au moyen de la pompe pneumatique. Le vide étant fait et le robinet fermé, Guerike d'évissa son appareil de la pompe et atela à chaque hémisphère 8 chevaux qui eurent beaucoup de peine à les détacher, ce qui se fait avec un éclat violent, tandis que, lorsque le vide n'étoit pas fait, ce Physicien les détachoit facilement avec ses deux mains. Cette grande expérience eut lieu en 1654 à la dite de Ratisbonne en présence de l'Empereur Ferdinand III et des princes

d'Allemagne, ce qui ne contribua pas peu à divulguer le secret de la Nature dans la pression de l'atmosphère. Cette pression peut être évaluée à un peu plus de 15¼ livres de france par pouce carré de surface lorsque le baromètre est à 28 pouces, et si nous considérons que le corps humain offre une surface de plus de 15 pieds ou 2160 pouces carrés à l'atmosphère, nous trouverons qu'il supporte continuellement une pression de plus de 33000 livres.

Mde. de L. Si cela étoit, Monsieur de *P.*, ce poids énorme devroit nous applatir comme une feuille de papier.

Mr. de P. La Nature a remédié à ce mal que vous paroissez redouter, en logeant, dans tous les pores et dans tous les interstices des parties de notre corps un air de même élasticité qni forme un contre-poids à la pression extérieure. Les bulles de savon nous en donnent un exemple frappant.

Le jeune de L. Mais les cloches de verre sous lesquelles on opère le vide se trouvent exposées à cette pression, comment se fait-il qu'elles ne soient pas écrasées.

Mr. de P. Elles sont rondes et voutées, et la pression de l'air extérieur ne fait parlà que comprimer les parties du verre les unes contre les autres comme les pierres de taille d'une voute. Aussi lors qu'on place un verre à vitre sur un cylindre creux dont on raréfie l'air, le verre se brise en cent morceaux.

Imaginons à présent une cloche assez haute pour y placer un baromètre entier et faisons le vide. On voit le mercure baisser à chaque coup de piston, mais tou-

jours d'une quantité moindre et dans la proportion que j'ai eu l'honneur, Madame, de vous détailler. Cette expérience en petit est bien plus parfaite que celle de Pascal sur la montagne et prouve irrévocablement que nous devons à la pression de l'atmosphère la suspension du mercure dans le baromètre.

Un petit vase à ouverture étroite, placé dans un verre d'eau sous la cloche de la pompe, perd son air lors qu'on fait le vide. On voit cet air s'échapper au-travers de l'eau, son orifice y plongeant. Lors qu'en suite on fait rentrer l'air sous la cloche, le petite vase se remplit presque tout-à-fait d'eau et ce qui manque à cet emplissage indique l'imperfection du vide.

Plaçons *sous* la cloche de notre pompe pneumatique un verre d'eau et *sur* la cloche une petite pompe aspirante pour pomper l'eau du verre en sorte que le tuyau aspirant, passant par une ouverture pratiquée au haut de la cloche, plonge dans le verre d'eau, et que la platine b d (fig. 25) de cette petite pompe ferme le reste de l'ouverture de la cloche. Cette petite pompe qui faissoit monter facilement l'eau tant que l'air de la cloche n'étoit pas raréfié, ne peut plus la faire monter dès qu'on a fait le vide: preuve que l'eau ne monte dans les pompes aspirantes que par la pression de l'air.

Une vessie bien fermée et dans laquelle on n'a laissé que très peu d'air, chargée d'un poids assez considérable, et placée sous la cloche de la pompe pneumatique, soulève le poids dès qu'on a fait le vide. Cette expérience prouve la grande élasticité de l'air contenu dans la vessie.

Au moyen du petit appareil que je vous dessine

(fig. 28) on force l'élasticité de l'air à produire un jet-d'eau. C'est un petit vase rempli d'eau au tiers. Un tube ab, dont l'orifice inférieur plonge jusques près du fond du vase et le supérieur se termine en forme d'ajutage, ferme parfaitement au moyen d'une vis l'ouverture du vase. Si nous plaçons cet appareil sur la platine de la pompe pneumatique et par dessus une cloche étroite et haute dont on raréfié l'air, on voit aux premiers coups de piston l'eau s'élancer, et former un jet de toute la hauteur de la cloche. Avant la dilatation de l'air de la cloche, cet air étoit en équilibre avec l'air renfermé dans le petit vase à la surface de l'eau; mais dès que l'air de la cloche devient moins dense, l'élasticité de celui du vase l'emporte sur celle de l'air de la cloche, presse sur l'eau et la fait monter le long du tuyau ab avec une force proportionnée à ce surplus d'élasticité.

Si au lieu de dilater l'air sous la cloche on le condense, alors celui du petit vase se condense de même, et lorsqu'on permet à l'air de la cloche de s'échapper à l'extérieur, alors l'air condensé du petit vase presse sur l'eau et la force de nouveau de s'échapper en forme de jet-d'eau.

Le fusil-à-vent nous offre des effets étonnants de la compression de l'air dans un espace bien fermé. Cet instrument presque aussi meurtier que le fusil ordinaire à qui il ressemble à l'extérieur, a son canon qu'on charge d'une balle, et, au lieu de poudre, d'une portion d'air très condensé dans la crosse ou dans une sphère de métal qu'on visse fortement à la culasse du canon. Cet air comprimé est retenu par une forte sou-

pape que l'on force à s'ouvrir un instant au moyen d'une platine assez semblable à celle du fusil ordinaire. L'air qui s'échappe arrive par un canal très étroit derrière la balle qu'elle chasse avec violence hors du canon. La sphère étant bien chargée, on peut tirer jusqu'à 15 on 16 coups et même davantage sans renouveller la charge. Mais comme l'air perd une partie de son élasticité à chaque coup, il est clair que le premier est le plus violent et que les autres deviennent de plus en plus foibles, en sorte qu'à la fin la balle ne peut plus sortir. Les décharges du fusil-à-vent se font presque sans bruit, et voilà pourquoi l'usage de cet instrument, plus dangereux par là que le fusil-à-poudre, est généralement défendu.

Mr. de T. Vous nous avez Mr. *de P.*, décrit, et expliqué plusieurs expériences instructives qui se font avec la pompe pneumatique. Ne voudriez-vous pas nous donner quelques détails sur les pompes hydrauliques? Pardonnez, Madame, ce désir à ma passion pour les machines.

Mde. de L. Cette passion me charme puis qu'elle engage Mr. *de P.* à nous dire bien des choses dont il ne parleroit pas sans votre provocation. Vos questions sont le briquet qui font sortir des éteincelles de notre cher Professeur toujours chiche en digressions.

Le Comte C. Un Professeur tient toujours à l'ordre systématique,

Mr. de P. Avouez, Monsieur le Comte, que j'ai été peu fidèle à cet ordre et puisqu'on m'invite aux digressions, je saisirai cette occasion pour ajouter à celle que Monsieur *de T.* désire une seconde digression

de ma façon, qui à ce que j'augure (il sourit malignement) plaira fort à Madame *de L.*

Mr. de V. Madame, tenez vous sur vos gardes! Je vois la malice flotter sur les lèvres de Monsieur *de P.* Je crains toujours les grecs, lorsqu'ils font des présens.

Mr. de P. La suite me justifiera. Commençons par les pompes. Les pompes les plus usitées sont de deux espèces, les aspirantes et les foulantes. La première espèce est assez bien représentée par la figure (fig. 25) que j'ai dessinée pour les pompes pneumatiques à soupapes, avec cette différence que le tuyau aspirant e d se trouve vertical comme g f et plonge dans l'eau. Si l'on fait le vide au dessus de la soupape a en faisant monter le piston, l'atmosphère fait monter l'eau dans le tuyau aspirant et le corps de pompe, avec toute la force de sa pression; et lorsqu'on abaisse le piston la soupape a empêche en se fermant l'eau de redescendre, qui se trouve ainsi forcée de se faire jour autravers du piston sous la soupape c qui s'onvre par l'élasticité de l'eau comprimée. Ainsi une repétition de coups de piston fait passer l'eau au dessus du piston; elle s'écoule par une ouverture ou canal quelconque pratiqué de côté dans le corps de pompe au dessus du plus haut point que le piston atteigne. Il est clair par là que la hauteur du tuyau aspirant et l'élévation du piston prises emsemble ne doivent pas excéder la colonne d'eau de 31¼ pieds que la pression moyenne de l'air peut porter, sans quoi l'eau n'arivera pas sous le piston, ce qui explique le phénomène de la pompe du jardinier de Florence. On peut au reste èlever l'eau au moyen de cette espèce de

pape que l'on force à s'ouvrir un instant au moyen d'une platine assez semblable à celle du fusil ordinaire. L'air qui s'échappe arrive par un canal très étroit derrière la balle qu'elle chasse avec violence hors du canon. La sphère étant bien chargée, on peut tirer jusqu'à 15 on 16 coups et même davantage sans renouveller la charge. Mais comme l'air perd une partie de son élasticité à chaque coup, il est clair que le premier est le plus violent et que les autres deviennent de plus en plus foibles, en sorte qu'à la fin la balle ne peut plus sortir. Les décharges du fusil-à-vent se font presque sans bruit, et voilà pourquoi l'usage de cet instrument, plus dangereux par là que le fusil-à-poudre, est généralement défendu.

Mr. de T. Vous nous avez Mr. *de P.*, décrit, et expliqué plusieurs expériences instructives qui se font avec la pompe pneumatique. Ne voudriez-vous pas nous donner quelques détails sur les pompes hydrauliques? Pardonnez, Madame, ce désir à ma passion pour les machines.

Mde. de L. Cette passion me charme puis qu'elle engage Mr. *de P.* à nous dire bien des choses dont il ne parleroit pas sans votre provocation. Vos questions sont le briquet qui font sortir des éteincelles de notre cher Professeur toujours chiche en digressions.

Le Comte C. Un Professeur tient toujours à l'ordre systématique,

Mr. de P. Avouez, Monsieur le Comte, que j'ai été peu fidèle à cet ordre et puisqu'on m'invite aux digressions, je saisirai cette occasion pour ajouter à celle que Monsieur *de T.* désire une seconde digression

tient et pour hauteur celle du fluide. Ici la base est la surface platte du piston ou la coupe horizontale du corps de pompe, et la hauteur celle à la quelle l'eau doit s'élever. Supposons cette hauteur de 18 pieds et la base du piston égale à 16 pouces carrés, nous disons alors que 16 p. carrés sont $\frac{1}{9}$ du pied carré et qu'en multipliant $\frac{1}{9}$ par les 18 pieds de hauteur, nous avons 2 pieds cubes pour la masse d'eau dont le poids doit être surmonté, poids qui équivaut à 140 livres, le pied cube d'eau pesant 70℔. Il faudra donc appliquer à la verge du piston une force de 140 livres pour faire équilibre au poids de la colonne d'eau qui sera contenue dans cette pompe.

Mais comme la pompe doit aller, le mouvement essuiera plusieurs résistances de frottement, de la part du piston, de la part de l'eau elle-même dans le tuyau et surtout dans les canaux toujours plus étroits des soupapes, et enfin la résistance de l'inertie, la colonne d'eau cessant de monter après chaque coup de piston et opposant son inertie chaque fois que le piston la force de nouveau de se remettre en marche. Toutes ces résistances ensemble peuvent s'évaluer à environ $\frac{4}{7}$ du poids de la colonne d'eau, et nous aurons parconséquent besoin d'une force d'environ 220 livres appliquée à la verge du piston.

Cette force excède de beaucoup celle qu'on peut exiger du travail continu d'un homme, et qu'on ne peut évaluer qu'à environ 20 livres avec une vitesse de $3\frac{1}{2}$ pieds par seconde on à 30 livres avec une vitesse de $2\frac{1}{2}$ pieds, ce qui exigeroit pour le maniment de no[tre] pompe le travail de 7 à 8 hommes. On parvien[t]

re aller cette pompe par la force d'un seul homme en employant un levier à bras inégaux dans la proportion de 1 à 7, au plus long des quels on applique la force et dont le plus court est fixé par une charnière à la verge du piston, et l'homme travaillera d'autant plus facilement qu'il n'a toute la résistance à surmonter que pour la moitié du tems, c. à. d. pendant que le piston monte, la résistance pendant l'abaissement du piston n'étant pas le quart de l'autre.

Mr. de T. Oserois-je, Monsieur *de P.*, vous faire encore une question? Comment calcule-t-on le produit de cette pompe?

Mr. de P. Très facilement avec les données que nous avons, et en suivant une marche opposée à celle que nous avons suivie pour calculer la force.

L'espace de $2\frac{1}{2}$ pieds que l'homme parcourt pour ce travail dans le tems d'une seconde, est à peu près celui qu'il peut faire parcourir à ses bras de haut en bas. Ainsi on peut admettre qu'il fera monter le piston dans une seconde et descendre également dans une seconde, et nous aurons 30 coups de piston par minute. Le bras de levier de la force étant 7 fois aussi long que celui de la résistance au quel le piston est fixé, il est clair que le piston fera un chemin égal au septième de celui que la force fait, et que ce chemin équivaudra au septième de $2\frac{1}{2}$ pieds on à $4\frac{2}{7}$ pouces. Or nous avons supposé la base du piston ou la coupe du corps de pompe égale à 16 pouces carrés. Donc le vide que le piston fait à chaque coup est de $68\frac{4}{7}$ pouces cubes. Ainsi les trente coups de piston par minute élèveront 2057 pouces cubes d'eau à la hauteur de 18 pieds, ce

qui équivaut à 1 pied et 329 pouces cubes ou à 83 livres d'eau. De là le calcul est facile pour une heure et pour tout tems donné, et lorsqu'on sait combien de pouces cubes sont contenus dans une mesure du pays, on évalue facilement ce produit en mesures du pays.

Mr. de T. Pourquoi ne nous instruit-on pas de ces choses-là dans notre jeunesse? Nous avons à tout moment besoin de ces connoissances en Mécanique pour l'administration de nos terres, et sommes obligés de nous en rapporter à des ouvriers ignorants qui font nos machines sur le simple aperçu de quelques essais qu'ils ont faits ou vu faire ailleurs, sans pouvoir en calculer les effets dès que les proportions sont changées.

Vingtdeuxième entretien.

Mr. *de P.* A présent que j'ai satisfait de mon mieux au voeu de Mr. *de T.*, permettez moi, Madame, de passer à une digression, à celle que je vous ai promise solennellement, au mécanisme du coeur.

Mde. de L. Votre malice vous réussira mal, mon cher monsieur *de P.* Car je déclare tout aussi solennellement que ce mécanisme, au lieu de me déplaire comme il y a quelques jours, m'intéresse beaucoup, grâces à la peine que vous vous êtes donnée de m'en faire sentir l'importance et la beauté.

Mr. de P. Et moi j'ose croire, Madame, que ce n'est qu'à l'instigation de Monsieur *de V.* que vous avez pu me supposer en ceci de la malice, dont notre Général s'est arrogé l'usage exclusif.

Mr. de L. Fort bien. J'aime à voir reconnoître mes droits.

Mr. de P. Si j'étois orateur, je vous tiendrois, Madame, un discours éloquent sur les difficultés presque insurmontables qu'on rencontre lorsqu'on veut décrire avec justesse le mécanisme du coeur, à cause des détails presque sans fin qu'on y trouve. Car ce mécanisme est en rapport direct avec tous les vaisseaux

dans les quels le sang circule, et je crois ne pas me tromper en assurant qu'il n'y a que les Anatomistes de profession qui ayent une idée complette de tout ce système. Les dessins, même les meilleurs, ne suffisant pas pour en développer toutes les parties; je m'en suis convaincu par l'inspection de ces mêmes parties dans le corps humain. Je dois parconséquent me borner à un aperçu très généralisé et même m'interdire tout dessin, de peur d'être forcé à des détails aux quels je ne pourrois nullement donner la clarté nécessaire.

Le sang, cette source nourricière de tout le corps, doit se répandre, circuler dans tous les organes et dans toutes les parties de ces organes, pour leur apporter la nourriture dont ils ont besoin. Le sang lui-même doit se renouveller, se régénérer, c. à. d. recevoir de nouveaux sucs qu'il travaille et modifie par sa circulation même. Nous passerons sous silence cette dernière fonction qui nous mèneroit à la description de tous les organes de la nourriture et de la digestion; Nous nous bornons à l'autre fonction, celle d'apporter la nourriture à toutes les parties de notre organisation.

Les organes chargés de cette fonction sont et doivent être deux systèmes de vaisseaux ou tubes dans les quels la circulation s'opère. L'un est le *système des artères* qui chasse le sang d'un point où il se trouve accumulé vers toutes les parties intérieures et extérieures de notre corps; l'autre est le *système des veines* qui ramène le sang de toutes ces extrémités vers le centre d'où il étoit parti. Ce centre de distribution, l'âme de cette circulation, est le coeur.

La nutrition, c. à. d. le changement du sang en fibres, en muscles, en tendons, en membranes, en os et en fluides de différentes espèces, ne peut être qu'une opération chimique par laquelle le sang se décompose en se combinant avec d'autres substances avec les quelles il se met en contact. Pour opérer ce contact, condition nécessaire à l'action de l'affinité, il faut que les artères et les veines se partagent presque à l'infini en ramifications infiniment déliées qui embrassent toute la matière du corps, qui la pénètrent en quelque sorte dans tous les points. Pour cet effet les artères et les veines sont composées d'abord de gros tuyaux qui jettent de grandes branches dans toutes les parties principales du corps, la tête, la poitrine, les bras, le bas-ventre, les cuisses et les jambes. Ces branches se subdivisent en rameaux et ces rameaux en ramifications de plus en plus déliées à mesure qu'ils s'éloignent des branches. Ces vaisseaux eux-mêmes, y compris le coeur, reçoivent de ces rameaux à leur surface et chaque artère a ses veines et chaque veine a ses artères, pour en tirer sa nourriture.

Cette circulation suppose nécessairement que les veines et les artères communiquent entre elles par les orifices de leurs plus fines ramifications. En effet cela a lieu et de deux manières. L'une est directe: les dernières ramifications de chaque système se réunissent en tubes capillaires d'une finesse qui échappe à l'oeil et même au microscope, en sorte que nous ne sommes assurés de l'existence de ces derniers tubes capillaires que par une maladie de ces vaisseaux déliés, l'inflammation qui les gonfle et les rend visibles au moins par

la couleur du sang qui y circule. L'autre manière de communication consiste à ce qu'entre les extrémités de ces tubes capillaires si déliés des artères et des veines, il se trouve quantité de vaisseaux très fins, fermés de tous côtés excepté à l'orifice de ces tubes capillaires. Cet assemblage de petites cellules ou vessies s'appelle le *tissu cellulaire*; chaque cellule reçoit le sang par un tube capillaire artériel, et le tube veineux pompe cette portion de sang pour le faire passer dans les rameaux et les branches.

Quantité d'orifices capillaires des artères sont en outre disposés à la circonférence des organes principaux et exhalent une humeur aqueuse qu'on retrouve dans les cavités grandes ou petites de notre corps, comme la poitrine, le cerveau, le basventre ou qui se perd dans l'air à la surface extérieure de tout notre corps, au travers de la peau.

Mr. de R. Quelle profondeur de sagesse dans cette disposition des artères et des veines!

Mr. de P. Permettez moi de continuer pour vous offrir l'esquisse entière de ce tableau merveilleux dont l'ensemble exalte l'âme et lui inspire la plus profonde admiration de l'Être suprème, plus peut-être que le firmament même avec l'immensité de ses globes innombrables.

Cette circulation dont nous parlons n'est pas la seule à la quelle le sang soit soumis. On l'appelle la *grande circulation* parce que son domaine a la plus grande étendue possible, puis qu'elle embrasse toute la machine organique. Il en est une seconde, nommée la *petite circulation*, qui a le travail du poumon pour

but. Si le sang circulait continuellement dans l'intérieur du corps sans entrer en rélation avec l'air atmosphérique, il se corromproit au bout de quelques heures et ne seroit plus capable d'aucune autre fonction que de celle de la pourriture; il ne circuleroit plus, il ne nourriroit plus, et l'organisation animale seroit détruite. *Le poumon*, tissu vésiculaire communiquant avec l'atmosphère par un grand tuyau (la trachée-artère) qui se termine au palais de la bouche, doit mettre l'air atmosphérique en contact chimique avec le sang pour lui donner les propriétés qu'il doit avoir. Pour cet effet il part du coeur un système à part de veines et d'artères, semblable au grand système et qui aboutit au poumon. Le système artériel amène dans le poumon le sang que les veines du grand système ont conduit au coeur, et le système véneux ramène ce sang du poumon au coeur et spécialement au grand système artériel. Cette seconde circulation est nécessaire pour faire subir à toute la masse du sang l'action de l'air atmosphérique qui le décompose dans un certain sens et produit la chaleur animale, cette chaleur qui se perd et se reproduit à chaque instant et reste constamment la même; cette seconde circulation, dis-je, est si nécessaire, son utilité saute tellement aux yeux que c'est elle qui a été découverte la première. On attribue généralement la découverte de la circulation du sang à l'Anglois Hervey qui la publia au commencement du 17e siècle. Mais il n'a découvert que la grande circulation. La petite l'avoit été 50 années plus tôt par Servet, Médecin de Genève, le même que le sombre et jaloux Calvin fit condamner au feu pour cause d'héré-

sie, et c'est dans le même ouvrage de controverse religieuse, qui lui a valu le bucher, que cette découverte se trouve consignée.

Nous savons à présent quelles routes le sang a à suivre, quels chemins il a à parcourir. Arrêtons nous un moment à la force nécessaire pour produire ce mouvement. Représentez vous bien ce double tronc du système artériel, l'un qui chasse le sang dans tout le corps, l'autre dans le poumon, par des branches qui se ramifient à l'infini et se terminent en tubes capillaires d'une finesse extrême. Ces ramifications multiplient énormement la surface intérieure de ce système de tubes et par là le frottement du fluide sur ces surfaces, frottement qui augmente encore à mesure que les tubes deviennent plus étroits parce que le liquide ainsi gèné ne peut plus exercer toute sa fluidité. Rien de plus lisse au monde que la surface du verre qui sort de la verrerie, et cependant une goutte d'eau ne se meut que lentement dans un tube capillaire dont le diamètre est encore très visible sans microscope. Quelle retard le mouvement du sang ne doit-il donc pas éprouver dans ses tuyaux capillaires beaucoup plus déliés, surtout si je vous observe que le sang n'est pas un liquide comme l'eau, mais qu'il est composé d'une liqueur moins fluide que l'eau et sans couleur, et d'une infinité de petits globules rouges qui y sont parsemés en si grand nombre que c'est à eux seuls que le sang doit sa couleur! Le microscope nous a instruit de leur existence et nous les a montrés en circulation dans les artères et les veines d'une finesse moyenne, nageants dans le serum ou le liquide non coloré. Jugez de la force

prodigieuse qu'il faudroit pour qu'une seule impulsion du coeur surmontât ces millions de résistances, et cette impulsion, fut-elle assez forte pour amener le sang jusqu'au bout des artères, seroit-elle suffisante pour le faire remonter par les veines jusqu'au coeur? Ajoutez à cela que, les veines étant toujours pleines, de même que les artères, toute la masse du sang des veines s'opposeroit par son inertie à l'introduction du sang des artères.

Je vous ai dépeint les difficultés de la circulation; c'étoit proprement énoncer le problème mécanique à résoudre. La source de cette opération se trouve dans le coeur dont je vais vous faire connoître le mécanisme. Je déduirai ce mécanisme des conditions du problème et ensuite je ferai voir que c'est le même que la Nature a choisi, et vous jugerez que la Nature ou plutôt le Créateur, s'entend à l'Hydraulique un peu mieux que nous.

La première condition du problème est que le sang soit refoulé du centre commun de tous ses mouvemens dans toutes les ramifications des artères. Il nous faut donc pour cela une pompe foulante avec une soupape près du piston pour que dans l'intervalle des refoulemens le sang ne retourne pas par la même voie au point d'où il a été chassé. La seconde condition est que le sang retourne au centre du mouvement par les veines, c. à. d. par une autre voie que la première. Il faudra donc que la pompe soit en même tems aspirante. La troisième condition est que le sang, qui arrive des veines au coeur, ne doit pas rentrer d'abord dans le système artériel, mais passer auparavant au travers du poumon.

Ainsi il nous faut une seconde pompe foulante pour le chasser immédiatement de son foyer de rassemblement dans le poumon à sa sortie des veines; et il faut que cette seconde pompe soit en même tems aspirante pour ramener le sang du poumon au coeur et directement au système artériel.

Mde. de L. J'ai peine à comprendre ce double mécanisme

Mr. de P. Eh bien! Madame, il faut donc, à mon grand regret, prendre le crayon.

Mde. de L. Pourquoi à votre grand regret?

Mr. de P. Parce que je ferai un mauvais dessin, ne pouvant en faire un bon qui soit intelligible pour vous. Je vais donc le faire, mais en sacrifiant non seulement l'élégance, mais aussi la vérité des formes pour simplifier l'idée de la chose et placer sur un seul plan ce que la Nature, par de bonnes raisons, a distribué sur plusieurs. J'espère que vous voudrez bien me pardonner ces défauts de mon dessin en faveur du désir que j'ai d'éclaircir cet admirable mécanisme.

Mde. de L. Je dois regarder cela comme un grand sacrifice de la part d'un Physicien qui est d'ailleurs si ami de la précision.

Mr. de P. Voilà ma ridicule figure dessinée (fig. 29). Imaginez un vase de la forme abcd de figure à peu près ovale dont le bout étroit est en bas. Une forte paroi ac le partage sur sa longueur en deux parties égales. Cette paroi n'a aucune ouverture, nulle part. Une autre paroi db partage le même espace en deux autres parties. Il est clair que tout notre vide sera par là divisé en quatre cavités, A, B, C, D. La

paroi db a deux ouvertures à soupape e et f, qui établissent une communication entre B et C et une autre entre A et D, en sorte que le fluide en B puisse passer en C, et que le fluide en D puisse passer en A, mais pas à rebours. De la cavité A sort le tronc g de la grande artère qui porte le sang dans toutes les parties du corps. Ses extrémités aboutissent toutes, immédiatement ou médiatement, aux extrémités des veines dont le tronc h entre dans la cavité B, en sorte que la ligne glmnh représente le chemin du sang dans la grande circulation. L'artère pulmonaire i sort de la cavité C, se subdivise en rameaux pour arriver au poumon o et livrer là le sang aux veines qui se concentrent enfin en k pour l'introduire dans la cavité D. Voilà notre double pompe foulante et aspirante construite. Essayons de la faire agir.

Supposez qu'une force quelconque comprime le sang dans la cavité A; comme cette pression ferme la soupape en f, le sang ne pourra s'écouler que par l'artère g et arriver à la jonction des artères avec les veines. Imaginez qu'au même instant une force pompe le sang par aspiration dans l'espace B, il est clair que le sang arrivera par les veines dans la cavité B. Répétez la même opération d'une seconde pompe que nous supposons foulante en C et aspirante en D, il est clair que, la compression, fermant la soupape en e, le sang ne pourra sortir de C que par l'artère pulmonaire i et rentrer dans la cavité D par la veine k. Nous supposons que ces deux compressions en A et C et ces deux aspirations en B et D ne durent qu'un temps très court et que d'abord après, les pistons imaginaires de nos

pompes fassent le chemin contraire de celui qu'ils viennent de faire; alors le sang porté en D passera en A par l'ouverture f et le sang porté en B passera en C par l'ouverture e; et voilà une opération entière de notre double pompe, qui n'a qu'à se répéter sans cesse de même pour continuer la double circulation.

Mde. de L. Je crois comprendre à présent ce mécanisme, mais je ne vois pas vos deux pompes. Où sont-elles? Quelle figure ont-elles?

Mr. de P. Vous les voyez, Madame, depuis que vous avez les yeux fixés sur la déplorable figure que je viens de dessiner. Le coeur lui-même est cette double pompe.

Mde. de L. Donnez moi vos yeux, monsieur *de P.*, pour la voir; les miens n'atteignent pas ces pompes invisibles.

Mr. de P. Vous avez sûrement vu, Madame, une de ces petites bouteilles de gomme élastique. On en a qui sont toujours comme gonflées par l'élasticité de la matière dont elles sont faites. Imaginez un tuyau ajusté à l'ouverture de cette bouteille élastique et dont le bout plonge dans un verre plein d'eau. Si vous pressez votre bouteille en sorte que les parois se rapprochent, l'air en sortira et, quand vous cesserez de presser, la bouteille se rétablira dans son premier volume et aspirera autant d'eau quelle avoit perdu d'air. Retirez à présent le tube hors de l'eau et comprimez de nouveau votre bouteille élastique; il se formera à l'instant un jet-d'eau. Ainsi cette bouteille fait les fonctions d'une pompe aspirante et foulante.

Le coeur a quatre cavités disposées à peu près

comme celles de notre figure, d'où sortent les troncs des artères et des veines. La masse qui renferme ces cavités ressemble à cet égard à la gomme élastique, et a en outre la propriété de se pouvoir passer d'une force extérieure comprimante. Cette matière est un muscle qui, comme tous les muscles, a la faculté de se resserrer. On nomme cette force *irritabilité*, sans au reste savoir en quoi elle consiste. Mais il suffit pour nous qu'on en voie les effets à tout moment sur tous nos muscles et sur le coeur même.

Mr. de L. Voilà une qualité occulte, dont je ne m'accommode pas.

Mr. de P. Connoissez-vous mieux l'irritabilité morale du coeur humain? L'irritabilité physique est un phénomène aussi bien constaté par ex. que l'action des accides sur les alcalis. On met cette qualité en activité par plusieurs moyens physiques, tels que le chaud, le froid, l'électricité, les sels, les accides, l'esprit de vin, et des lésions faites avec un instrument tranchant, souvent par le seul contact de l'air.

Le Comte C. Permettez moi d'alléguer, pour preuve de l'effet du contact de l'air sur le coeur, la fameuse expérience faite à l'institut vétérinaire de Copenhagen. On a introduit dans une des veines d'un cheval une bulle d'air au moyen d'une seringue; et au bout de quelques secondes, lorsque cette bulle d'air est arrivée au coeur, le cheval est tombé roide mort, comme frappé du plus violent coup d'apoplexie.

Mr. de L. Si le tragique des exécutions n'étoit pas d'une utilité reconnue, je proposerois cette manière

de se défaire des malfaiteurs condamnés à mort, comme la plus humaine de toutes.

Mr. de P. Permettez moi de revenir à notre mécanisme. Les cavités A et C s'appellent les ventricules du coeur, et les cavités D et B sont des espèces de vestibules qui ne servent que de dépôt au sang pour être travaillé par le muscle qui forme les cavités A et C, qu'on pourroit nommer à juste titre les pompes. La paroi ac n'a aucune ouverture, mais la paroi db en a deux, f et e, comme j'ai dit qu'elle doit les avoir. Elles servent à faire passer le sang de chaque vestibule dans le ventricule voisin et des soupapes en empêchent le retour.

Mais ces soupapes ne ressemblent ni à nos soupapes ordinaires, ni à celles que je vous ai fait connoître et qui se trouvent dans le tronc des artères. Chacune d'elles a la propriété étonnante de fermer non seulement l'ouverture f ou e, mais aussi l'entrée de l'artère g ou i. Pour cet effet elles sont conformées comme des voiles triangulaires, fixées par un côté entre les deux ouvertures qu'elles doivent fermer alternativement; leur bord inférieur se termine en plusieurs fils qui forment une ou plusieurs cordes musculeuses attachées au bas du ventricule. Je vais essayer de vous donner l'idée d'une de ces soupapes (fig. 30). Le bord pq est celui par le quel cette voile, qui a assez la forme d'un éventail, est attachée à la surface intérieure du coeur à peu près vis-à-vis de d. Le point r est le bout de la corde (du reste un tuyau) fixé au bas du ventricule, en sorte que la direction de la coupe de cette voile dans

la cavité A va de d vers a et de celle de la cavité C de b vers a. Dans le moment où le coeur n'éprouve ni compression ni dilatation, la voile est lâche et peut se jeter à droite ou à gauche.

Mr. de R. Ce mécanisme est admirable. Voilà une soupape qui sert doublement!

Mr. de G. Et qui ferme assurément à perfection, car une membrane ainsi appliquée et pressée sur un trou, doit le fermer parfaitement.

Mr. de P. Vous voilà, Madame, à présent instruite de la construction du coeur aussi bien que mes malheureuses figures le permettent. Mais ce qui me console, c'est que je suis persuadé que si j'avois voulu et pu vous dessiner ce mécanisme dans tous ses détails et ses formes naturelles, vous ne l'auriez probablement jamais compris, ce qui m'est arrivé à moi-même après avoir consulté de très bonnes tables anatomiques où l'on se pique de tout dépeindre. Pour entrer dans le vrai secret de ce mécanisme il m'a fallu étudier un coeur en nature, et encore ai-je du y mettre toute ma pénétration de mécanicien.

A présent donnons le mouvement à cette belle machine que nous supposons remplie de sang dans ses quatre cavités. C'est l'irritabilité qui donne ce premier mouvement, qui consiste dans un resserrement des deux cavités inférieures A et C qui se contractent simultanément en s'approchant de la paroi qui les sépare, en même tems que la pointe a se rapproche de la paroi db et se relève sur le devant contre les côtes de la poitrine. C'est ce dernier mouvement de la poin-

te du coeur qui est sensible à l'extérieur sous le nom de battement de coeur.

Mr. de L. A présent, Madame, vous savez ce que c'est que le battement de coeur, la joie la tendresse, les douces émotions.

Mr. de P. La contraction que je viens de décrire diminue le volume des cavités A et C et force le sang qui y est contenu de s'échapper par où il trouve une ouverture. Par cette compression du sang les soupapes en forme de voile se tappissent sur les ouvertures f et e, les ferment, laissant l'entrée des artères g et i ouvertes, dans les quelles le sang se trouve refoulé et arrive à leurs dernières ramifications. Dès que cet effet de l'irritabilité est passé, les cavités A et C reprennent leur premier volume par la force de leur élasticité, de même que les bouteilles de gomme élastique, et il se fait un vide dans chacune d'elles. Alors la pression de l'air, qui agit sur les veines, force le sang des veines à se porter vers les cavités D et B et de ces cavités dans les ventricules A et C par les ouvertures f et e dont les soupapes sont jetées par l'affluence du sang sur les orifices des artères g et i qui se trouvent fermées par cette action.

Mr. de T. Mais la pression de l'atmosphère doit également s'exercer sur les artères, et il semble que par là le sang devroit refluer aussi des artères dans les ventricules.

Mr. de P. En effet cela auroit lieu, si ces artères n'avoient tout près du coeur ces soupapes admirables en forme de bourses, que je vous ai déjà décrites et

qui empêchent ce reflux du sang. En outre les artères, de même que la moitié inférieure du coeur, sont d'une matière compacte, presque roide et très élastique, qui ne se prête guères à cette pression de l'atmosphère, tandis que les veines et la moitié supérieure du coeur qui forme les cavités D et B, est molle et sans élasticité, et fléchit à chaque pression extérieure.

Mr. de R. Plus on examine ce mécanisme, plus on est forcé de l'admirer.

Mr. de T. En effet quelles misérables machines sont nos pompes avec leurs tuyaux de bois ou de métal et leurs roides soupapes, comparées à cette pompe inimitable! Que nous sommes loin d'approcher de la sagesse des ouvrages du Créateur!

Mr. de P. Que nous sommes encore loin de la comprendre! — Je dois ajouter que cette grande élasticité des artères a encore un autre but, celui de seconder la force contractive du coeur. Nous avons vu quelle grande résistance les fines ramifications des artères et des veines opposent à la circulation. Si la contraction des ventricules devoit seule chasser le sang dans tous ces milliers de tubes capillaires, elle n'en viendroit pas à bout, quelque grande qu'elle fut. L'élasticité des artères vient à son secours. Avant que le sang coule dans ces vaisseaux de dimensions si différentes, il les dilate par la pression à la quellc il est soumis, puis, l'instant d'après, les artères se resserent par leur élasticité sur tous les points de leur circonférence et de toute leur longueur et appliquent en quelque sorte à chaque goutte de sang séparément une force qui la

chasse en avant. Cette dilatation et contraction alternative des artères est ce qui produit le pouls.

Mr. de T. Mais quelle est la force primitive, la cause qui met l'irritabilité des ventricules du coeur en activité et fait ainsi jouer toute cette admirable machine?

Mr. de P. Nous n'avons que des conjectures là-dessus. L'expérience que monsieur le Comte nous a racontée de la mort du cheval par une bulle d'air introduite dans la veine et parvenue au coeur, nous indique que l'expansion d'un fluide élastique quelconque met cette irritabilité dans une très grande action. Aussi quelques-uns croient qu'au moment de la diastole (dilatation) il se dégage de la masse du sang, qui se trouve dans les ventricules A et C, une portion d'acide carbonique qui irrite les parois intérieures de ces cavités pour produire la systole (compression). Mais comme la préexistence de l'accide carbonique dans le sang n'est pas démontrée, et que d'un autre côté il est bien certain que la dilatation produit une évaporation considérable dans tout fluide aqueux, je suis porté à regarder la formation de cette vapeur comme le premier agent en question, d'autant plus que, comme nous le verrons par la suite, toute formation de vapeur produit de l'électricité et que l'électricité est un des plus puissants excitateurs de l'irritabilité des muscles.

Quoiqu'il en soit de cette cause, au moins connoissons nous à présent le mécanisme sur le quel elle s'exerce pour porter la nourriture, la chaleur, la vie dans toutes les parties du corps organique. Mais ce

qui vous étonnera, c'est que ce mécanisme admirable n'est entièrement dévoilé que depuis 1818. C'est à un étudiant de Leipzig, nommé Schubarth, qne nous en devons la connoissance détaillée; et bien qu'il ait commis quelques erreurs, que j'ai évitées dans ma description, c'est lui qui a prouvé le premier que le coeur agit non seulement comme une pompe foulante, ce qu'on savoit depuis longtems, mais aussi comme une pompe aspirante au moyen de la pression de l'air.

Mde. de L. D'où vient qu'on a été si longtems à faire cette découverte, et qu'elle ait été reservée à un étudiant de Leipzig?

Mr. de P. Par ce que les Anatomistes sont de règle trop peu Physiciens et qu'il est de mode de vouloir regarder chaque phénomène des corps organisés comme dépendant de lois absolument différentes et souvent contraires aux autres lois de la Nature; bref, c'est la manie des mystères qui nous a privés et nous prive encore tous les jours de mille connoissances; manie qui ne cessera que l'orsqu'on aura employé contre elle les mêmes armes dont Molière s'est servi contre le charlatanisme des Médecins de son tems. Sous prétexte d'honorer la Divinité en trouvant partout des mystères dont on ne veut devoir l'explication qu'à des forces inconnues et d'un genre supérieur, les partisans de cette doctrine mystique ne veulent en effet que donner une haute idée de leurs profondes méditations, favoriser l'opinion de leur savoir et en même tems couvrir d'un voile presque sacré leur paresse à étudier la Mécanique, la Physique et la Chimie. Pour moi, je crois et croirai tou-

jours honorer davantage la Divinité et son immense et sublime ouvrage en considérant tous ses détails infinis comme le résultat de très peu de lois, simples, générales, et invariables. Notre maladresse multiplie les moyens; la Sagesse du Créateur les simplifie.

Vingttroisième entretien.

Mr. *de P.* A présent vous avez ajouté, Madame, à votre connoissance morale du coeur humain, la connoissance physique de ce muscle si important à notre organisation et au quel on attribue par métaphore tous les mouvemens de nos passions, de nos affections, de nos haines, de tout ce qui tient au moral. Reprenons à présent le fil de nos entretiens et parlons de la théorie du mouvement des fluides après avoir découvert les lois de leur équilibre.

Le Comte C. La théorie du mouvement des fluides! Comment pourrons nous vous suivre?

Mr. de P. Très facilement. Le Général n'a-t-il pas posé en principe dans notre premier entretien que tout ce qui est un vrai gain pour la science doit pouvoir être présenté d'une manière facile à saisir et frapper l'esprit par son évidence? Et c'est précisément ce chapitre, qu'on a cru presque généralement devoir omettre dans les ouvrages sur la Physique, à cause des difficultés apparentes dont on l'a hérissé, qui justifiera le principe de notre Général. Il suffira d'abord pour cela de nous entourer de plusieurs observations exactes, d'où nous tirerons un théorème qui deviendra le

fondement de tout ce chapitre. Ce théorème concerne l'écoulement des liquides et porte que:

Lorsqu'on fait un trou au fond d'un vase plein d'eau, l'eau s'écoule avec une vîtesse qui diminue d'instant en instant jusqu'à la fin de l'écoulement, et les vîtesses d'écoulement sont en proportion des racines carrées des hauteurs du niveau de l'eau au dessus de l'ouverture par la quelle l'eau s'écoule.

Ne vous effrayez pas, Madame, de ces racines carrées; vous savez ce que c'est qu'une racine carrée et un exemple suffira pour vous en faire voir l'application dans ce cas. Supposons qu'au commencement de l'écoulement le niveau de l'eau dans le vase soit à 9 pieds au dessus de l'ouverture d'écoulement et au bout d'un certain tems à 4 pieds, alors les vîtesses d'écoulement seront dans le rapport de 3 à 2.

Mr. de T. C'est la même loi que celle de la chûte des corps.

Mr. de P. Assurément et Newton a cru pouvoir faire dériver ce théorème de la loi de la chute libre des corps, en admettant que l'eau du vase doit, pour s'écouler, tomber du haut du niveau jusqu'à l'orifice d'écoulement. Mais c'est en quoi ce grand homme s'est trompé. Nous verrons que notre théorème s'appuie sur un tout autre principe.

Commençons d'abord par des faits et observons ce qui se passe dans un vase plein d'eau pendant l'écoulement.

Soit A B D E (fig. 31) un vase plein d'eau bien tranquille, C le trou au fond du vase, par lequel l'eau s'écoule;

on observera pendant tout le temps de l'écoulement que le niveau A E, quelque profondeur qu'il atteigne, reste constamment plat; on n'y observe aucun creux, aucun enfoncement au dessus de l'ouverture C, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à une distance du fond égale à un peu plus du quart du diamètre de l'ouverture. Si au contraire on fait tourner l'eau dans le vase pendant l'écoulement, il se forme d'abord au point de la surface de l'eau qui répond à l'ouverture du fond, un enfoncement; et si le mouvement de rotation est considérable, cet enfoncement devient un vrai entonnoir dont la pointe atteint l'ouverture d'écoulement et la dépasse même, en sorte que la veine d'eau, qui auparavant formoit un cylindre, se gonfle par l'air qui s'y introduit du haut du vase et forme des filets de vis boursoufflés.

Mr. de R. Je ne conçois pas cette introduction de l'air dans la veine d'eau.

Mr. de P. La rotation de l'eau dans le vase produit une force centrifuge qui fait monter l'eau vers les parois du vase et produit un creux vers le milieu qui doit se remplir d'air. Cette force centrifuge de l'eau du vase se conserve encore dans les parties de l'eau qui ont dépassé l'ouverture d'écoulement et produit un vide dans le milieu de la veine d'eau qui ne peut que s'emplir de l'air qui a pénétré de haut enbas jusqu'à l'orifice d'écoulement. — Mais revenons au plan horizontal du niveau. Cet horizontalisme a lieu dans toutes les couches du fluide de haut en bas jusqu'à une petite distance de l'orifice d'écoulement. On s'en assure en plaçant l'une sur l'autre plusieurs couches d'eau di-

versement colorées, comme AEGF, FGIH, HIDB; car on voit pendant l'écoulement que les limites HI, FG ne cessent d'être horizontales et planes que lorsqu'elles sont arrivées à une très petite distance du fond du vase.

Cette expérience prouve indubitablement que l'eau qui s'écoule en C ne tombe réellement pas du haut du niveau AB.

Mr. de T. Mais d'où vient donc l'eau qui s'écoule?

Mr. de P. Une nouvelle expérience nous en instruira. Suspendons dans notre vase plein d'eau, dont l'ouverture C est fermée, et près de cet orifice un petit pendule ca, dont la boule a ne soit que de très peu spécifiquement plus pesante que l'eau, afin qu'elle puisse se mouvoir horizontalement avec une grande facilité. Tant que l'orifice est fermé le pendule conserve sa situation verticale; mais dès que l'écoulement s'opère, la boule du pendule marche avec une certaine rapidité vers l'orifice et s'y fixe dans cette situation inclinée cd, tant que l'écoulement dure.

Mr. de T. Ah! je vois. L'écoulement se forme par un courant horizontal qui a lieu de tous côtés vers l'orifice C.

Mr. de P. Assurément; car ce mouvement du pendule, et par conséquent celui de l'eau vers l'orifice C, a lieu en tous sens, mais pas avec la même vitesse partout; car si on transporte le point de suspension c à différentes distances de la verticale qui passe par le milieu de l'orifice, ensorte que la boule du pendule dans sa position naturelle soit plus ou moins proche de l'orifice C, la déviation acb, occasionnée par le courant

pendant l'écoulement, est de plus en plus grande à mesure qu'on approche le point c de suspension de la verticale qui passe par c.

J'ai répété ces expériences avec notre petit pendule pour différentes hauteurs de la boule a au dessus du fond BD et j'ai trouvé qu'à une très petite hauteur le pendule n'a aucun mouvement lors qu'il est placé près de la circonférence du vase, et cette hauteur est égale au demi diamètre de l'orifice. Puis en le faisant avancer vers l'orifice on peut l'élever un peu davantage et toujours plus lors qu'il arrive plus près de l'orifice, avant qu'il cesse entièrement de se mouvoir. La plus grande hauteur à laquelle on puisse élever le pendule tout près de l'axe de l'orifice est égale à environ 4 fois le diamètre de l'orifice.

Je vais vous dessiner une figure (fig. 52) qui vous donnera une idée juste de ces courants et de leurs vitesses. La partie inférieure de l'eau, à qui j'ai donné une teinte plus foncée, est celle qui a les mouvemens décrits, les teintes plus fortes exprimant de plus grandes vitesses, et les courbes os et sr sont les limites où le pendule cesse d'être entrainé sensiblement vers le milieu.

Proprement il ne faudroit que la couche orpx, dont la hauteur est égale au demi rayon de l'orifice C, pour fournir l'eau nécessaire à l'écoulement. Mais cette couche ne peut pas se précipiter vers l'orifice sans emporter par l'adhésion quelques couches supérieures du liquide et cet entrainement s'étend à d'autant plus de couches supérieures que la vitesse est plus considérable, ce qui explique pourquoi le pendule ne cesse de

se mouvoir qu'aux hauteurs désignées par la courbe osr.

Le Comte C. Je conçois cela et je prévois que ces nouveaux phénomènes nous méneront à de nouveaux principes.

Mr. de P. En effet; ces expériences nous prouvent que l'eau qui s'écoule en C n'est pas tombée du haut du niveau AE, mais qu'elle arrive en C par des courants horizontals qui ne produisent de cataracte ou chute perpendiculaire que dans le petit espace entre s et l'orifice C, tout le reste de l'eau contenue dans le vase ne faisant rien que de s'abaisser très lentement pour réparer la perte d'eau que fait l'espace osrpx. Cette vitesse avec laquelle le niveau AE et toutes les autres tranches horizontales descendent vers le fond du vase, est en proportion inverse des carrés des diamètres du vase et de l'orifice. Si l'orifice, par ex. a $\frac{1}{2}$ pouce de diamètre et le vase 12 pouces, la vitesse avec laquelle le niveau AE descend, sera $\frac{1}{576}$ de la vitesse avec laquelle l'eau sort de l'orifice.

Mr. de T. Mais d'où vient donc cette vitesse d'écoulement? Je n'en vois pas encore l'origine.

Mr. de P. On l'attribue communément à la pression que l'eau exerce sur elle-même. Mais la pression d'un corps vers un autre qu'il touche, ne peut pas donner à celui-ci une plus grande vitesse que le corps pressant n'a lui-même; et si la vitesse d'écoulement dérivoit immédiatement de la pression, cette vitesse ne pourroit pas être plus grande que celle avec laquelle le niveau de l'eau s'abaisse dans le vase, ce qui est contre toute expérience; et en outre cette pression n'expliqueroit nullement les courants horizontals de l'eau

que nous avons observés dans l'espace inférieur osrpx.

Mde. de L. Je suis sur les épines. Pourquoi tourmentez-vous monsieur *de T.* en lui faisant attendre l'explication qui lui tient si fort à coeur?

Mr. de P. Par ce qu'il faut commencer par abattre une vielle maison pour en bâtir une nouvelle à sa place, principe que Mr. *de T.*, si bon architecte, ne récusera surement pas. Voici le mot de l'énigme: L'élasticité des liquides est la médiatrice dont la Nature se sert pour arriver de la lenteur, avec laquelle le niveau de l'eau et toutes les autres couches horizontales s'abaissent dans le vase, à la grande vitesse de l'écoulement.

Le jeune de L. Mais l'élasticité de l'eau est si petite! Comment produira-t-elle un si grand effet?

Mr. de P. Vous vous trompez, mon cher. C'est la compressibilité de l'eau qui est très petite; mais son élasticité, la force avec laquelle elle s'oppose à la compression et reprend après son volume primitif, cette force est très grande, et nous n'avons ici besoin que de cette force.

Jmaginons notre vase plein d'eau et l'orifice C fermé. Il est clair que chaque tranche horizontale presse sur les inférieures, que chacune d'elles exerce une élasticité proportionnée au nombre de couches qui se trouvent au dessus d'elles. Ainsi les couches inférieures auront la plus grande élasticité, les supérieures la moindre. Tant que l'orifice C est fermé, tout est en équilibre c. à. d. en repos. Ouvrons à présent subitement l'orifice C; la première tranche d'eau qui s'y trouve est dans l'état de la plus grande compression,

et comme la pression des couches supérieures fait équilibre à sa dilatation de bas en haut, toute l'élasticité s'exerce à chasser cette couche hors de l'orifice. A présent voyons quelles parties d'eau suivront cette première couche. Assurément celles qui sont le plus près de l'orifice et qui sont le plus comprimées, c. à. d. celles qui sont le plus près du fond; et dès qu'il s'est fait un nouveau vide à l'orifice, ce seront de nouveau les parties les plus comprimées qui succèderont. Ainsi il doit s'établir de tous côtés un courant des couches les plus comprimées, c. à. d. de celles qui sont le plus près du fond, vers l'orifice, courant que nous avons observé au moyen du pendule.

Le Comte C. Voilà un très bel accord de la théorie avec l'expérience.

Mr. de P. A présent nous sommes en état de démontrer le théorème de Torricelli que l'on n'avoit pu démontrer auparavant, tant qu'on n'avoit pas songé à l'élasticité des liquides. Imaginez un vase A (fig. 33) plein d'eau et qu'à l'orifice C soit adapté un tuyau recourbé CBD, dont l'orifice D soit égal et à la même hauteur que l'orifice C, et tenons l'orifice D fermé pour quelques instans. Il est clair que l'eau contenue dans le tuyau recourbé ne contribue en rien par son poids ou sa pression à l'écoulement qui se fera en D; car on peut considérer cette eau comme composée de deux colonnes CB et BD qui se font mutuellement équilibre, et nous n'avons à faire qu'à la pression de l'eau dans le vase. Mais il est également clair que la dernière couche d'eau en D doit avoir la même élasticité que la première en C, c. à. d. l'élasticité produite

par le poids des couches d'eau du vase au dessus de l'orifice C.

Dès qu'on ouvre l'orifice D, l'eau en sort impétueusement en formant un jet cylindrique du diamètre du tuyau, et il est clair que l'eau s'élèvera ou que le cylindre d'eau gagnera en hauteur jusqu'à ce que son poids fasse équilibre à l'élasticité de l'eau à l'orifice D.

Car si le cylindre d'eau étoit plus léger, l'élasticité le pousseroit plus haut, et s'il étoit plus pesant il retomberoit et se raccourciroit. Mais quelle sera la hauteur ab de ce cylindre d'eau porté par l'élasticité de l'eau à l'orifice D? Elle sera égale à celle de l'eau dans le vase depuis le niveau cd jusqu'à l'orifice C.

Mr. de T. Voudriez-vous me permettre de vous faire part d'une remarque que j'ai faite. Je crois m'être aperçu que les jets-d'eau n'atteignent pas tout-à-fait la hauteur de l'eau du réservoir qui les produit.

Mr. de P. Cela vient de ce que l'eau, dans son passage dans les tuyaux de conduite comme ABD, éprouve un frottement et dans l'air une résistance, qui diminuent nécessairement la hauteur du jet-d'eau. Ici, en théorie, on fait abstraction de ces résistances, que nous apprendrons ensuite à estimer.

A présent nous savons que la hauteur du cylindre d'eau ba est la même que celle de l'eau dans le vase; voyons comment l'eau qui s'écoule en D acquiert cette hauteur. Nous avons vu que c'est par l'élasticité qu'ont les couches d'eau qui arrivent en D. Ainsi chaque couche d'eau infiniment mince arrivée en D se trouve lancée perpendiculairement en direction contraire à celle de la pesanteur. Mais nous avons appris par la thé-

orie de la chute des corps qu'un corps, lancé en direction contraire à la pesanteur, monte précisément jusqu'à la hauteur due à la vîtesse avec laquelle il a été lancé; c. à. d. qu'un corps, lancé verticalement en D, atteindra une hauteur b a telle que s'il se trouvoit originairement en a abandonné à la pesanteur, sa chute le long de a b lui donneroit une vîtesse égale à celle avec laquelle il a été lancé. Par ce théorème nous apprenons à connoître la vîtesse avec laquelle l'eau lancée par son élasticité sort de l'orifice D, et cette vîtesse est la même que celle qu'elle obtiendroit si elle tomboit de la hauteur a b qui et la même que la hauteur de l'eau dans le vase au dessus de l'orifice C.

Mais nous avons vu tout à l'heure que la couche d'eau contenue dans l'orifice C a la même élasticité que la couche contenue dans l'orifice D. Donc, si nous enlevons notre tuyau de conduite CBD, l'eau en C s'écoulera avec la même vîtesse qu'en D, c. à d. avec la vîtesse due à la hauteur du niveau de l'eau au dessus de C. Or nous avons appris par la théorie de la chute des corps que les vîtesses dues à la hauteur des chutes sont entre elles comme les racines carrées de ces hauteurs. Donc *les vîtesses d'écoulement seront en raison des racines carrées des hauteurs du niveau de l'eau au dessus de l'orifice d'écoulement.* Et c'est là le fameux théorème de Torricelli, la base de toute l'Hydraulique.

Mr. de R. Du même Torricelli qui a découvert la pesanteur de l'air et inventé le baromètre?

Mr. de P. Du même, et à qui nous devons par-là la base de toute la théorie des fluides liquides et élastiques. Mais retournons à notre principe de l'élastici-

té de l'eau. L'expérience suivante vous étonnera par son résultat. Ce que je vous dessine en ce moment est un cylindre creux d'un pied de longueur (fig. 34) ouvert en entier par le bas, fermé au haut par une platine platte, au milieu de laquelle est un trou d'environ trois lignes de diamètre. Fermez cette ouverture avec le pouce et enfoncez le cylindre bien perpendiculairement dans un vase plein d'eau, en sorte que le niveau de l'eau se trouve tout près de l'orifice. En cet état le cylindre contiendra encore tout l'air qu'il contenoit auparavant, mais comprimé à présent par la pression d'une colonne d'eau d'un pied de hauteur. Si j'ouvre l'orifice fermé, l'eau montera précipitamment dans le tuyau, et comme elle arrivera à l'orifice avec la vitesse due à une hauteur de un pied, vous vous attendez qu'il s'élancera subitement un jet-d'eau instantané jusqu'à un pied au dessus de l'orifice, selon le théorème de Torricelli.

Mr. de T. En effet cela doit être.

Mr. de P. Mais cela n'est pas; ce jet-d'eau monte jusqu'à 7 à 8 pieds de hauteur, ainsi au moins 7 fois plus haut.

Le Comte G. Je ne m'attendois pas à cet effet.

Mr. de P. Nous pouvons l'augmenter en donnant à notre instrument la forme de cône dans la plus grande partie de sa longueur et en le terminant au haut par une espèce d'ajutage de la forme que je vous dessine (fig. 35). Cet instrument, que je nomme *cône hydraulique*, pousse le jet-d'eau jusqu'à 16 pieds de hauteur. J'en ai construit un sur de plus grandes dimensions et dont l'orifice avoit 1 pouce de diamètre et qui a poussé

son jet instantané jusqu'à 32 pieds. Voici l'explication de ce phénomène surprenant:

Dans l'expérience du cylindre, l'eau en montant arrive à la plaque avec une vîtesse due à une hauteur de 1 pied, c. à. d. de près de 7 pieds 9 pouces, choque la plaque et exerce une élasticité proportionnelle à la racine carrée de cette vîtesse ou à une pression de un pied d'eau. Cette élasticité s'exerce dans tous les sens et parconséquent sur les parties de l'eau voisines de l'orifice qui se trouvent choquées par toute la masse qui les entoure, masse bien plus considérable que la portion d'eau qui étoit prête à sortir par l'orifice. Or lorsqu'une masse élastique est choquée par une autre également élastique et plus grande qu'elle, elle acquiert plus de vîtesse que la masse choquante, et c'est ce surplus de vîtesse qui lance l'eau du jet à cette hauteur inattendue. Dans l'expérience du cône la figure conique augmente encore la vîtesse. Car l'eau en montant dans le cône arrive dans des régions de plus en plus étroites. La portion qui vers le bas avoit place dans un espace de 1 ligne de hauteur, exige 9 lignes de hauteur là où le diamètre n'est que le tiers de celui d'en-bas. Ce resserrement du tuyau feroit qu'il ne passeroit dans un tems donné que $\frac{1}{9}$ de l'eau qui devroit passer et le tout se trouve comprimé par l'ascension de l'eau du bas. Cette compression augmente l'élasticité, les parties supérieures doivent céder à ce surcroit d'élasticité et monter avec plus de rapidité. Arrivées à l'embouchure, qui fait le double effet du cône et de la plaque, elles gagnent encore par l'élasticité du fluide un nouveau degré de vîtesse.

Mr. de T. Je conçois que sans le secours de l'élasticité ce phénomène seroit inexplicable et contrediroit le théorème de Torricelli.

Mr. de P. Bien plus: sans l'intervention de cette force médiatrice nous n'aurions aucun jet-d'eau, et nos pompes pour les incendies, qui sont des pompes foulantes et portent l'eau jusqu'à 100 pieds de hauteur (ce qui suppose une vitesse d'écoulement de 39 pieds par seconde) n'auroient aucun effet. Car la marche lente du piston, qui va auplus à 1 pied par seconde, ne seroit pas en état de donner à l'eau du jet une plus grande vitesse que de 1 pied. Bien plus encore. Si vous imaginez un vase (comme celui de la fig. 33) avec un tuyau recourbé CBE, l'eau n'arriveroit jamais sans l'élasticité à la hauteur D et moins encore à de plus grandes et le phénomène fondamental de l'Hydraulique, l'égalité de niveau dans les deux branches d'un tuyau recourbé (fig. 1), n'auroit pas lieu, parce que la pesanteur de l'eau ne peut presser que de haut en bas, jamais de bas en haut. Dans tous ces phénomènes l'eau se comporteroit comme une masse de sable sec qu'aucune pression de haut en bas ne peut forcer à monter. Et comme nous voyons que l'eau et tous les liquides se comportent à cet égard comme les fluides élastiques, il est clair que c'est à l'élasticité que nous devons ces phénomènes.

Le Comte C. Et si c'est à l'air, disséminé entre les molécules de l'eau, que l'eau doit son élasticité, c'est à cet air que nous devons le mouvement des liquides.

Mr. de P. Je n'en doute pas et vous voyez, messieurs, déjà un de ces phénomènes où la Nature pro-

duit ses grands effets par des corpuscules dont la grandeur échappe à nos meilleurs microscopes. Car nous n'avons jamais vu les particules d'air disséminées dans l'eau; nous ne les voyons que quand elles en sont sorties et rassemblées en masse.

Mr. de T. Vous disiez tout-à-l'heure qu'aucune pression ne peut forcer une masse de sable à monter comme l'eau. A-t-on des expériences là dessus?

Mr. de P. J'ignore si d'autres Physiciens les ont faites. Mais j'en ai faites qui me paroissent décisives. J'ai fait faire un tuyau recourbé, de 4 pouces de diamètre, dont la courte branche avoit 1 pied de hauteur perpendiculaire et la longue 22 pieds. Le tuyau étant placé verticalement et plein de fin sable sec, la grande colonne de sable surpassoit donc de 21 pieds la courte et malgré cet excédent de pression le sable de la courte branche étoit si peu disposé à monter que lorsque je frappois cette partie du tuyau avec un marteau, le sable se tassoit dans la courte branche et s'affaissoit comme s'il n'eut pas existé de pression de la part de la colonne de 21 pieds.

Mr. de T. Je n'aurois pas deviné ce résultat.

Mr. de P. Une autre expérience m'a prouvé que cette même colonne de sable de 22 pieds de hauteur n'exerce pas de pression latérale sensible. J'ai enlevé de mon tuyau la partie courbée et placé le tuyau simple de 22 pieds de longueur dans une position verticale de sorte que son orifice inférieur se trouvoit à 5 pouces du plancher. Alors j'ai fait verser du sable, par le haut qui en tombant s'est répandu autour du tuyau, formant.

un cône plat dont les côtés étoient inclinés d'environ 30 degrés à l'horizon, et dont le sommet fermoit l'orifice inférieur du tuyau, que je fis remplir en versant le sable lentement pour ne pas produire de choc considérable par la chute. Le tuyau a été rempli jusqu'à son orifice supérieur sans que la pression de cette colonne verticale ait pu écarter le peu de sable qui fermoit l'orifice inférieur du tuyau et s'écouler latéralement.

Le Comte C. Ces expériences prouvent indubitablement que les liquides et le sable n'exercent pas leur pression d'après les mêmes principes.

Mr. de P. Enfin je dois ajouter que c'est au principe de l'élasticité de l'eau que nous devons l'explication du phénomène énigmatique que nous avons eu dans notre 17e entretien, l'égale pression des liquides sur le fond des vases de même base et de même hauteur, quelque soit d'ailleurs la figure et la grandeur des vases mêmes. Car à présent nous devons considérer le fond mobile de nos cônes et de notre cylindre (fig. 4) non comme chargé d'une certaine portion d'eau, mais comme pressé par l'élasticité de la couche inférieure d'eau qui le touche immédiatement, et cette élasticité est la même pour tous les vases de même hauteur; c'est ainsi que nous considérons la colonne de mercure dans le baromètre comme faisant équilibre non au poids d'une colonne d'air de même diamètre, mais à l'élasticité de la couche d'air qui repose immédiatement sur la surface inférieure du mercure.

Mr. de L. Voilà un nouveau sorcier que Mr. *de P.* a introduit dans notre société, l'élasticité des liqui-

des! Ce sera comme le théorème du parallélogramme des forces.

Mr. de P. Assurément et je vous prédis que nous verrons encore souvent ces deux sorciers travailler de concert et vous amuser par leur ouvrage.

Ce fameux théorème de Torricelli a été prouvé d'abord par de nombreuses expériences, dont nous devons les principales à l'abbé Bossut. On a du les répéter d'autant plus souvent que l'on s'étoit en vain efforcé d'en fournir une démonstration rigoureuse en employant uniquement le principe de la pression exercée par la pesanteur.

Mais vous vous étonnerez surement que, quoique les expériences s'accordent parfaitement à confirmer notre théorème, quoique les vitesses d'écoulement soient exactement en proportion des racines carrées des hauteurs de l'eau au dessus de l'orifice, l'écoulement soit moindre que la théorie ne le prescrit. La quantité de l'eau écoulée dans un certain tems semble devoir être mesurée par le produit de l'orifice multiplié par la vitesse. L'expérience au contraire prouve que, si le calcul donne 100 pieds cubes d'écoulement dans une minute, la quantité d'eau écoulée ne sera réellement que de 62 pieds cubes.

Mr. de T. Cela vient sûrement du frottement de l'eau dans l'orifice et de la résistance de l'air, comme vous nous avez dit que cela a lieu pour le jet-d'eau dont la hauteur se trouve par là diminuée.

Mr. de P. Ces deux résistances ont bien quelque effet; mais elles ne peuvent pas rendre compte d'une perte de 38 pour cent, surtout dans les cas de grands

orifices d'écoulement où la masse d'eau qui s'écoule est très grande en comparaison de la circonférence de l'orifice; car la force qui doit surmonter le frottement de l'orifice et de l'air est en raison du carré du diamètre de l'orifice et les résistances en raison de la circonférence ou du diamètre simple.

Pour expliquer cette grande perte jetons les yeux sur une de nos dernières figures (fig. 32) où j'ai tâché de vous dessiner la marche de l'eau qui arrive à l'orifice C. Cette marche n'a lieu que dans les couches inférieures, et nous devons considérer ici l'eau en mouvement comme composée d'une infinité des filets tous dirigés vers l'ouverture. Pour que ces filets entrent dans l'orifice d'où ils doivent s'élancer il faut qu'ils se courbent. Ainsi c'est comme si nous avions une infinité de courans qui se choquent à angles obliques. Or nous savons par notre théorème du parallélogramme des forces que lorsque deux forces agissent en directions obliques la force résultante est plus petite que la somme des deux forces données, et il est clair qu'en prenant l'ensemble de tous nos filets d'eau nous devons avoir un déchet soit en vîtesse soit en quantité de fluide écoulé. Devinez à présent, Messieurs, le quel de ces deux déchets doit avoir lieu en théorie; l'expérience décide déjà que ce sera un déchet de masse et non de vîtesse.

Mr. de L. J'espère que vous mettrez la théorie d'accord avec l'expérience.

Mr. de P. Je ferai au moins mon possible; mais sur quel principe faudra-t-il s'appuyer ici?

Le Comte C. Je ne vois que l'élasticité qui puisse décider.

Mr. de P. Assurément. Car par quelque chemin que l'eau soit arrivée à l'orifice, elle a à l'orifice une vîtesse d'écoulement due à la hauteur du niveau au dessus de l'orifice. Ainsi la vîtesse de l'eau à l'intérieur de l'orifice doit être la vîtesse entière que la théorie donne, et il ne peut provenir aucun déchet de vîtesse par le genre de mouvement de l'eau dans le vase. Donc le déchet ne peut avoir lieu que sur la masse d'eau élancée.

Mr. de T. Mais si la vîtesse d'écoulement est la vîtesse totale due à la hauteur de l'eau dans le vase, et si la masse de l'eau écoulée est moindre que le produit de l'orifice multiplié par la vîtesse, il faut ou que dans la veine d'eau qui s'écoule il y ait une petite veine vide qui ne contienne pas d'eau, ou que le diamètre de la veine d'eau soit plus petit que celui de l'orifice, en sorte que les deux circonférences ne se touchent pas.

Mr. de P. Le premier cas est impossible parce que la pression de l'atmosphère feroit cesser à l'instant cette veine vide qu'il suppose.

Mr. de T. Et le second cas n'a pas lieu; car j'ai souvent vu de ces écoulemens en grand et en petit, et l'orifice étoit toujours rempli par la veine d'eau.

Mr. de P. Il est un troisième cas possible, celui où la veine remplit, il est vrai, tout l'orifice mais se resserve au dehors. Et ce troisième cas est celui qui réellement a lieu, et tous les experimentateurs dans cette partie, depuis Newton jusqu'à nos jours, ont observé ce *resserrement de la veine d'eau* à son origine. Bossut nous a fourni là-dessus les renseignements les

plus exacts; il a fait voir que le resserrement de la veine d'eau a acquis son maximum à une distance de l'orifice égale au demi diamètre et qu'alors le diamètre de la veine est à celui de l'orifice comme 82 à 100, et parconséquont la surface de la coupe de la veine à celle de l'orifice comme $67\frac{1}{4}$ à 100. Ainsi en supposant la vitesse réelle d'écoulement parfaitement égale à celle que fournit la théorie, nous n'aurions que $32\frac{3}{4}$ p. cent de déchet; au lieu des 38 p. cent que l'observation donne.

Cette différence de $5\frac{1}{4}$ p. cent n'est pas une erreur de calcul ou d'expérience; elle prouve que la vitesse réelle d'écoulement est en effet moindre que celle qui est due à la hautenr du fluide dans le vase, et cette diminution de vitesse doit être assignée au frottement de l'eau dans l'orifice et dans l'air. C'est ainsi qu'une juste théorie appuyée de l'expérience assigne à chacune des deux causes de la diminution de l'écoulement la part qui lui est dûe.

Mr. de T. Tout en admirant cet accord de la théorie avec l'expérience je prends la liberté de faire une question: D'où vient que la veine d'eau ne se ressere pas dans l'orifice pour y prendre déjà le plus petit diamètre qu'elle doive avoir?

Mr. de P. L'adhésion de l'eau à la matière de l'orifice en est cause; elle retarde les filets d'eau qui forment la circonférence de la veine et l'adhésion de ces filets à leurs voisins retarde ceux - ci mais d'un peu moins; cette seconde couche de filets retarde de même la troisième couche; celle-ci la quatrième et toujours de moins en moins, de façon que l'on peut assurer que la veine entière est retardée mais de quantités toujours

décroissantes de l'extérieur à l'intérieur, en sorte que le filet du milieu a la plus grande vîtesse.

Le Comte C. Il me paroît presque inconcevable que l'adhésion, qui est une si petite force mécanique, puisse produire cet effet.

Mr. de P. L'expérience suivante est bien faite pour nous en convaincre. Supposez un jet-d'eau vertical et approchez en près de l'orifice un tube de verre horizontal jusqu'à ce que les surfaces du tube et de la veine d'eau commencent à se toucher. Vous verrez à l'instant le jet-d'eau quitter sa direction verticale et se former en éventail du côté du tube, de sorte que ses filets inférieurs dévient de plus de 45 degrés de la verticale. Si vous faites avancer le tube jusqu'à ce que le jet entier se trouve en contact avec le tube, alors vous verrez presque toute l'eau du jet se tourner comme un ruban autour du tube.

Notre théorie explique un autre fait non moins surprenant. Nous venons de voir que le frottement, ou l'adhésion de l'eau de la veine dans l'orifice, diminue la vîtesse de l'écoulement. Ainsi on devroit s'attendre à ce que, si l'on donne au fond du vase beaucoup d'épaisseur, épaisseur qui augmente la longueur du tuyau très court qui forme l'orifice, ou si l'on adapte à l'orifice un tube court (d'égal diamètre) le frottement augmentera en raison de la plus grande surface que l'eau touche et diminuera la vîtesse de l'écoulement. Eh bien! le contraire arrive; et Bossut a prouvé par des expériences exactes et nombreuses que, si le tuyau a pour longueur le double diamètre de l'orifice, le surplus d'écoulement acquis par là est à son maximum et équivaut

à trois dixièmes de l'écoulement réel qui a lieu lorsque l'écoulement se fait sans tuyau, de sorte que ces trois écoulemens, celui que fournit le calcul sans avoir égard au resserrement de la veine, celui qui a lieu avec le tuyau et celui qui a lieu sans tuyau, sont à peu près dans la proportion de 100 à 81 à 62. Ainsi le tuyau ajouté à l'orifice répare le tiers du déchet que nous avons observé d'abord.

Mr. de T. Ce fait est bien paradoxe.

Mr. de P. Assurément, mais tout aussi vrai, et notre théorie l'explique facilement. Le resserrement de la veine d'eau prouve que l'obliquité des filets d'eau n'a pas lieu uniquement à l'orifice et dans l'intérieur du vase, mais se continue au dehors, et cette continuation doit diminuer l'écoulement. Si donc nous pouvions appliquer à la surface de la veine d'eau une infinité de forces qui en écartassent tant soit peu les filets jusqu'à ce qu'ils coulassent tous parallèlement les uns aux autres, il est clair que nous réparerions une partie du déchet occasionné par l'obliquité des filets. Or l'adhésion du fluide au tuyau nous fournit cette infinité de petites forces. Donc le tuyau doit produire l'effet observé.

Je pourrois ajouter encore plusieurs considérations sur cet objet presque inépuisable. Mais je dois me souvenir que je ne suis pas sur ma cathèdre, et rendre grâces à Madame *de L.* de ne m'avoir par encore accusé d'y être déjà.

Mde. de L. Non, monsieur *de P.*, je n'y ai pas songé et je suis très reconnaissante de ce que vous nous avez présenté avec tant de charté ces phénomènes con-

pliqués que les savans regardoient comme leur domaine exclusif.

Mr. de P. C'est à l'élasticté des liquides que vous devez adresser, Madame, ces remercimens. Elle seule m'a mis en état de dissiper l'obscurité qui règnoit encore sur ces phénomènes qui sont la base de toute la théorie du mouvement des fluides.

VINGTQUATRIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de P.* Notre dernier entretien, uniquement consacré à la théorie de l'écoulement des liquides, a du paroître aride. Néamoins il est très fertile et nous verrons qu'il est susceptible d'une infinité d'applications intéressantes.

La première de toutes est que cette théorie a lieu non seulement pour les orifices pratiqués au fond des vases, mais aussi pour ceux qu'on pratique sur les côtés. Imaginez que l'on ait fait au côté du vase que je vous ai dessinée (fig. 33) un trou dans sa paroi verticale, il est clair que l'eau contenue dans cet orifice exercera une élasticité proportionnée à la hauteur de l'eau au dessus de l'orifice, et qu'il s'opèrera un écoulement d'une vîtesse due à cette élasticité. Mais comme la hauteur est pour chacun des filets qui composent la veine, différente de celle de chaque autre filet qui se trouve plus haut ou plus bas, on conçoit que les vîtesses d'écoulement seront différentes pour différents points du diamètre vertical de l'orifice. Si les vîtesses d'écoulement étoient en proportion des hauteurs de l'eau, il est clair que la vîtesse du centre de l'orifice seroit égale à la vîtesse moyenne de la veine

et qu'on pourroit toujours la prendre pour base du calcul. Mais les vîtesses sont en raison des racines carrées des hauteurs; ainsi ce n'est pas le milieu e qui fournit le point d'où l'on doit partir pour mesurer la vîtesse moyenne et que nous nommerons centre d'écoulement. Mais ce sera un autre point; et cette considération a donné occasion à des calculs intéressants sur ce centre d'écoulement surtout pour les cas où l'orifice n'est pas un parallélogramme mais un cercle ou un triangle ou toute autre figure donnée. Heureusement le calcul et l'expérience démontrent que dans tous les cas où la hauteur de l'orifice ne passe un dixième de la hauteur ec de l'eau dans le réservoir on peut prendre le milieu de la hauteur de l'orifice pour centre d'écoulement, sans commettre une erreur sensible, d'autant plus que l'adhésion des molécules de l'eau entre elles contribue à égaliser les vîtesses dues à différentes hauteurs. Dans les cas où la hauteur de l'orifice est plus grande, alors on la partage en autant de parties égales qu'il faut pour que chacune d'elles soit au plus $\frac{1}{10}$ de la hauteur de l'eau au dessus d'elle et l'on calcule pour chacun de ces orifices à part la vîtesse due.

Ces calculs se font pour trouver la quantité d'eau qui doit s'écouler par une ouverture et une hauteur d'eau données, et l'on a soin d'y faire entrer l'influence du resserrement de la veine, en multipliant le produit de la vîtesse trouvée et de la surface de l'orifice par la fraction $\frac{62}{100}$.

Mais passons à un objet qui nous intéresse par ses agrémens, le jet-d'eau.

Mr. de T. J'avoue que je prends peu d'intérêt à

ce joujou des grands seigneurs et que je trouve ce sujet peu digne d'une attention sérieuse.

Mr. de G. Et je trouve cette décoration de nos jardins insipide parce que cette direction verticale et contre nature rapelle à l'instant les canaux souterrains et tout l'art qui produit les jets-d'eau.

Mr. de P. Je devrois par la même raison trouver la fontaine de Vaucluse et toutes les sources naturelles que les Poëtes ont célébrées ou non célébrées, également insipides, parce que je sais que la Nature y amène également l'eau par des canaux souterrains. Le jet-d'eau a une beauté régulière et ce seroit à la vérité choquer le bon goût que de le placer dans un jardin anglois où l'on évite tout ce qui rapelle la symétrie; mais je regarde le jet-d'eau comme de très bon goût dans un parterre où tout est symétrique et dont les plantes, toutes exotiques, rappellent une à une l'art qui les force de croître sous un ciel étranger et dans une terre produite par l'art. Quant à l'objection de futilité que Mr. *de T.* m'a faite, j'espère qu'il la retirera lui-même.

Mr. de T. Très volontiers si je puis me convaincre de l'utilité des jets-d'eau.

Mr. de P. Soit A un réservoir toujours plein d'eau (fig. 36) B C D E un tuyau recourbé dont l'orifice E soit fermé par une plaque au milieu de la quelle on a pratiqué un trou. Il se formera un jet-d'eau dont la hauteur devroit, d'après le théorème de Torricelli, atteindre celle du niveau de l'eau dans le réservoir; mais elle est moindre parce que le frottement et la résistance de l'air diminuent la vitesse avec laquelle l'eau mon-

te, qui, arrivée à sa plus grande hauteur, se divise en une infinité de gouttes et prend la forme d'une gerbe.

Le bout de tuyau E d'où l'eau sort immédiatement s'appelle l'ajutage. On lui peut donner diverses formes; la plus ordinaire est celle d'un cône très alongé c. à d. presque cylindrique, et l'on a choisi cette forme pour amener les filets d'eau du large tuyau par des directions inclinées à l'ouverture étroite d'où sert le jet.

Cette construction pêche contre la théorie qui nous a prouvé dans notre dernier entretien que ces courans obliques diminuent considérablement la vitesse d'écoulement, et parconséquent la hauteur à laquelle le jet parvient. I'ai fait à ce sujet des expériences décisives qui prouvent que le meilleur des ajutages est celui que je viens de vous dessiner, c. à. d. une simple plaque avec un trou au milieu; la hauteur du jet est d'une quantité assez considérable plus haute que celle que produit l'ajutage conique.

Mr. de T. Je n'aurais pas prévu ce résultat et j'aurois cru au contraire que les oppositions des directions seroient plus considérables dans votre ajutage que dans l'ajutage conique.

Mr. de P. J'avois moi-même quelque doute à cet égard; mais l'expérience a confirmé mon opinion, et cela vient de ce que dans l'ajutage à plaque le jet n'est produit que par l'élasticité de l'eau à l'orifice, qui resserre la veine au lieu que dans l'ajutage conique les courans des différens filets tendent à élargir la veine à sa sortie, ce qui augmente la dépense d'eau et la résistance de l'air qui divise plus tôt le jet en gouttes.

Cette dissémination du jet exige pour de grandes

vé par des expériences faites sur des surfaces de 500 pieds carrés qu'il suffit d'une livre d'eau pour éteindre une surface de 20 pieds carrés. Donc la pompe moyenne dépense 350 fois plus d'eau qu'il n'en faut pour éteindre l'incendie, sans compter toute l'eau qui par la maladresse du pompier ne tombe pas sur les poutres enflammées. Aussi les bâtimens en sont-ils inondés et l'eau cause par fois au propriétaire autant de dommage que le feu. Et souvent combien cette prodigalité de l'eau ne nous met-elle pas dans l'embarras! Partout où l'eau est éloignée du lieu de l'incendie et pendant l'hyver dans les pays du Nord, où il faut percer une glace de 4 à 5 pieds d'épaisseur pour arriver à l'eau d'une rivière qui se gèle en suite subitement dans les seaux, dans les cuves et dans les pompes mêmes, il est impossible de fournir à cette profusion.

Nous reviendrons un jour sur cet objet. Pour le moment il me suffit d'ajouter que la Mécanique a merveilleusement pris soin de produire dans les pompes pour les incendies un jet continu, si nécessaire pour porter toute l'eau au point où on veut l'avoir. Car si ce jet étoit interrompu, s'il recommencoit à chaque coup de piston, l'extrémité du jet, en parcourant la distance de la pompe à l'incendie, répandroit plus d'eau sur ce chemin qu'il n'en arriveroit au point où elle doit arriver. Pour obtenir ce jet continu il ne suffit pas de mettre deux pompes à la fois en mouvement en sorte qu'un des pistons monte tandis que l'autre descend; car entre l'élévation et l'abaissement d'un piston il se passe un tems, très court à la vérité, mais cependant assez long pour faire cesser le jet presque entièrement. Pour

obtenir cet effet si nécessaire on a adapté à la pompe un grand vase de cuivre bien fermé de toute part et capable d'une grande résistance. Près du fond de ce vase sont deux tuyaux qui communiquent avec les pompes et un troisième qui se termine à l'ajutage. Les pompes refoulent alternativement l'eau dans ce vase par les deux premiers tuyaux, y compriment l'air avec une force égale à celle qu'ont les pistons et qui est double du poids de l'atmosphère pour un jet de 64 pieds de hauteur. Pendant cette opération le pompier ferme l'orifice de l'ajutage avec le pouce, et lorsque l'élasticité a acquis l'énergie nécessaire, son pouce ne peut plus résister à la pression. Alors l'air comprimé chasse l'eau avec la vîtesse requise et continue ce service dans les courts intervalles des coups de piston.

Mr. de T. J'ai toujours admiré ces jets-d'eau que les grandes pompes lancent avec une force énorme et une régularité merveilleuse.

Mr. de P. Dois-je avoir aujourd'hui le malheur, Mr. *de T.*, d'être constamment d'un autre avis que le vôtre? Je ne puis admirer cette grandeur outrée des pompes, rélativement à l'énorme dépense d'eau qu'elles occasionnent. Notre théorie des jets-d'eau nous apprend qu'une pompe qui doit porter l'eau à 100 pieds de hauteur doit avoir un ajutage de 8¼ lignes et les Hambourgeois se sont vantés d'en posséder une dont l'ajutage a 12 lignes de diamètre. Où trouver les deux pieds cubes d'eau que cette pompe doit dépenser chaque seconde? Et malheur au propriétaire d'une maison qu'on sauve au moyen de ce déluge! Le célèbre Phy-

sicien hollandois van Marum est le premier qui ait fixé notre attention sur cette profusion d'eau inutile et nuisible et prouvé par des expériences décisives que de petites pompes, que deux hommes peuvent transporter et faire jouer par tout, éteignent le feu aussi bien et aussi promptement et avec dix fois moins d'eau que les grandes pompes mues par 16 et 24 hommes. La force mécanique du jet des grandes pompes est même en certains cas très dangereuse. J'ai vu dans une incendie très considérable un brave canonnier travaillant au haut d'un mur avec la plus grande intrépidité, précipité dans les flammes par la force diabolique du jet d'une de ces pompes gigantesques dirigé sur lui par la maladresse du pompier.

Mde. de L. Ce malheureux a-t-il été sauvé?

Mr. de P. Oui, Madame, à moitié rôti et avec une une jambe et un bras cassés, et dix autres braves y ont risqué leur vie. — Mais permettez moi de passer à un autre objet; je crains d'avoir été trop long dans cette digression.

Nous avons parlé dans un de nos entretiens précédents du mouvement centrifuge des corps solides. L'eau et tous les liquides sont également susceptibles de ce mouvement.

Imaginez, Madame, un vase cylindrique représenté par la figure que j'ai l'honneur de vous dessiner ABKI (fig. 35) et deux tuyaux coudés KEF, IG B, dont les branches horizontales KE et IG communiquent avec le vase, et les deux autres EF et GH soient verticales. Si nous versons de l'eau dans le vase, elle se mettra en équilibre avec elle-même dans les deux

tuyaux coudés où elle montera au même niveau b et a que dans le vase. Fixons à présent cet appareil sur un disque horizontal qui puisse se mouvoir sur un pivot placé au milieu C, avec une vitesse quelconque, en sorte que le vase et les tuyaux se tournent autour de l'axe vertical CD.

Ce mouvement de rotation étant établi, il est clair qu'il imprimera aux particules d'eau, contenues dans les branches horizontales des tuyaux, une force centrifuge exactement proportionnée à leur distance de l'axe CD, comme nous l'avons prouvé de chaque corps solide. Il résultera de cette force centrifuge une pression des particules d'eau dans les directions KE et IG, et parconséquent une pression semblable contre les colonnes d'eau verticales bE et aG. Or comme ces petites colonnes étoient auparavant en équilibre avec l'eau dans le vase central, elles ne peuvent pas faire équilibre à cette force centrifuge et l'eau sera forcée de monter, jusqu'à ce que le poids des colonnes d'eau dans les branches verticales EF et GH des tuyaux fasse équilibre à la force centrifuge aux points E et G les plus éloignés de l'axe de rotation. Il suit de là qu'on peut donner à la rotation une telle vitesse que l'eau soit forcée de dépasser les tuyaux verticals et produire des jets en F et H.

Mr. de G. Nous voilà de nouveau dans les jets-d'eau, la passion de Mr. *de T.*

Mr. de P. Pas tout-à-fait; car ces jets ne pourroient produire qu'une pluie circulaire dont l'Hydraulique (science du mouvement des fluides) se soucieroit fort peu. Ce qui doit nous intéresser ici c'est de

couvrir le rapport de la force centrifuge à la hauteur à laquelle cette force élève l'eau dans les branches verticales des tuyaux. Pour cet effet j'ai disposé l'appareil de sorte que les branches verticales des tuyaux puissent être placées à différentes distances de l'axe de rotation; comme en LM, les extrémités E et G des branches horizontales étant fermées. Puis j'ai adapté des soupapes à ressort à l'entrée K et I des tuyaux horizontals qui laissent passer l'eau tant que dure la rotation, et qui peuvent être subitement fermées pendant la rotation même, en sorte que les colonnes d'eau élevées par la force centrifuge ne puissent pas retomber lorsqu'on fait cesser le mouvement pour observer ces hauteurs. Les expériences faites avec cet appareil prouvent que les hauteurs b c et e d des colonnes d'eau élevées par les forces centrifuges en E et L sont en raison directe des carrés des rayons CE et CL; d'où il suit que les rayons sont en raison des racines carrées des hauteurs. Mais les vitesses des points E et L sont proportionelles aux rayons; Donc *les vitesses sont en raison des racines carrées des hauteurs.*

Mr. de T. C'est la même loi que celle de Torricelli pour l'écoulement des liquides!

Mr. de P. Fort juste, et nous concluons de là que l'élévation des colonnes d'eau b c, e d est dûe à l'élasticité de l'eau à l'embouchure des tuyaux verticals, et que parconséquent, pour élever l'eau au moyen de la force centrifuge, il faut donner au mouvement de rotation la vitesse dûe à la hauteur de la colonne d'eau à élever.

Mde. de L. La Physionomie de Mr. *de T.* devient

toute radieuse; il devine sûrement un nouveau mécanisme pour élever de l'eau, une nouvelle pompe.

Mr. de T. Je ne savois pas encore que vous possédiez, Madame, l'art dangereux de lire les pensées d'un homme sur sa physionomie.

Mde. de L. Cet art, si même je le possédois, ne peut avoir aucun danger pour vous; une âme aussi noble, aussi pure que la vôtre peut toujours se montrer à découvert.

Mr. de T. Au moins vous n'y lirez jamais que l'estime la plus vraie et l'attachement le plus respecteux pour vous, et . . . . .

Mr. de L. Parlez nous vîte, Monsieur *de P.*, de la nouvelle pompe, pour distraire Mr. *de T.* des déclarations qu'il est en train de faire à ma femme.

Mr. de V. Pour moi, toutes les pompes imaginées et imaginables ne me retiendroient pas.

Mr. de L. Mais la Politique?

Mr. de V. Tout aussi peu. A mon âge on se rapproche de l'enfance et l'enfance nous ramène au sentiment et non au calcul. Bref, je me déclare envers et contre tous, le serviteur très humble et très passionné de Mde. *de L.*

Mr. de P. Avouez, Madame, qu'il faudroit avoir bien de l'esprit pour trouver une tournure qui nous fit passer de ces sentimens chevaleresques à la pompe centrifuge.

Mde. de L. Ne faites pas languir notre bon Mr. *de T.*

Mr. de P. Oui, monsieur *de T.*, vous devinez juste; la force centrifuge nous fournit une nouvelle es-

pèce de pompe, et, qui plus est, d'une grande perfection. Je vais vous la dessiner. A C (fig. 36) est un axe de bois percé en bas sur la longueur b B et supporté par un étrier de fer d c d, dont la pointe c sert de pivot. Cet étrier laisse passer l'eau qui doit monter dans le tuyau b B. A la hauteur B sont les deux tuyaux a f g h qui par leurs orifices inférieurs communiquent avec b B, et dont les orifices supérieurs h versent l'eau dans un canal de décharge circulaire dont le profil est k i l m. La partie f de ces tuyaux est très renflée et surmontée par un petit tuyau n qui sert à remplir cette partie renflée jusqu'à la hauteur B. Quelques gros fils de fer g g, g g, joignent les tuyaux montans à l'axe pour les empêcher de se courber.

A présent supposons cette machine en mouvement, c. à. d. quelle se tourne sur son axe A C, il est clair que l'eau contenue en f acquèrera une force centrifuge qui la fera monter dans le tuyau incliné. Il se forme par là un vide dans le tuyau Bb. et la pression de l'air extérieur sur la surface de l'eau du réservoir fera monter cette eau dans ce tuyau, qui deviendra une source continuelle pour la pompe. Plus l'eau avance dans les tuyaux inclinés, plus elle gagne en force centrifuge à raison de la plus grande distance où elle se trouve de l'axe. Si donc la vîtesse absolue des orifices h, h, des tuyaux est aussi grande que la vîtesse dûe à l'élévation de ces orifices au dessus de l'eau dans le réservoir, l'eau atteindra cette hauteur, et, si on augmente un peu cette vîtesse, elle s'écoulera dans le canal circulaire de décharge d'où on pourra la conduire par d'autres tuyaux ou canaux où l'on en a besoin.

Mr. de T. Cette idée est bien belle!

Mr. de P. En effet elle réunit bien des avantages. D'abord elle n'a pas de piston et on évite par là la résistance que le frottement du piston occasionne dans les pompes ordinaires. En second lieu elle n'a point de soupape, ce qui est un grand avantage, non seulement par ce qu'il y a toujours quelque chose à réparer à cette partie de nos pompes, mais parce qu'elles gênent toujours le passage de l'eau. Enfin cette pompe n'a point d'intermittence; dès qu'elle a obtenu son mouvement uniforme, il se conserve tant que la force agit et l'on n'a nullement à faire à l'inertie de l'eau comme dans les pompes ordinaires.

Mde. de L. Cette dernière propriété va me donner du goût pour cette espèce de pompe.

Mr. de T. A-t-on exécuté cette pompe en grand? Je n'en ai jamais entendu parler.

Mr. de P. Moi mon plus, et j'en doute, d'abord par ce que les praticiens ne sont pas encore apprivoisés à l'idée de la force centrifuge des fluides et parceque les savans ont trop peu à calculer à cette machine, et puis parce que le mécanisme proposé originairement étoit moins avantageux que le mien, celui que je viens de vous décrire. Au lieu des tuyaux inclinés on avoit deux tuyaux presque horizontals placés en v, au haut de l'axe qui se trouvoit percé sur toute la longueur bv. C'étoit à cette hauteur qu'on faisoit agir la force centrifuge en emplissant ces tuyaux et le tuyau vertical vb. Ainsi cette machine étoit une pompe centrifuge aspirante, tandis que la nôtre est une pompe centrifuge foulante. Ce mécanisme a deux défauts qui proviennent de

ce que l'eau doit monter par la pression de l'air jusqu'à la hauteur requise. Le premier est que l'action de la pompe se trouve par là limitée à environ 25 pieds de hauteur.

Le jeune de L. Mais vous nous avez dit que la pression de l'air peut supporter environ 32 pieds d'eau.

Mr. de P. Assurément, mais à l'approche de ce maximum la pression de l'air fait monter l'eau avec une extrème lenteur et ne peut plus fournir à l'écoulement, et puis il se dégage de l'eau, déchargée du poids de l'atmosphère, une quantité considérable d'air dans les tuyaux, dont l'élasticité réagit de haut en bas sur la colonne d'eau à élever. Le second défaut est que ce mécanisme exige une soupape en b, et que cette soupape, ne fermant jamais parfaitement, laisse écouler l'eau dans le tems où la machine ne va pas et force, à chaque fois qu'on veut renouveller le mouvement, de remplir de nouveau les tuyaux horizontals et le tuyau vertical.

Mr. de T. Vous disiez tout-à l'heure que les savans ont trouvé trop peu à calculer à cette machine. Peut-être que nous autres ignorans pourrions comprendre ce calcul.

Mr. de P. Très facilement. Soit la hauteur, à laquelle l'eau doit être élevée au dessus du réservoir, égale à 66 pieds. Nous cherchons par une règle de trois, ou dans les tables calculées à cet effet, la vitesse due à cette hauteur. Elle est de 63 pieds par seconde. Ainsi pour amener l'eau à cette hauteur il faudra donner cette vitesse aux orifices b des tuyaux. Pour pro-

duire un écoulement il faudra augmenter cette vitesse en proportion de la quantité d'eau qu'on veut avoir et de la grandeur des orifices. Si par ex. on veut obtenir un produit de 10 pieds cubes par minute ou de 283 pouces cubes par seconde, et que l'orifice h de chaque tuyau soit de 12 et les deux ensemble de 24 pouces carrés, on divise 283 par 24, ce qui donne un peu moins de 12 pouces de vitesse par seconde. Ainsi au lieu de 63 pieds on donne aux orifices h une vitesse de 64 pieds par seconde. Il y aura un petit déchet dans le produit à cause du frottement de l'eau dans les tuyaux, frottement qui a lieu dans toutes les autres espèces de pompes et qui est partout plus grand qu'ici. Si on place les milieux des orifices h à 10 pieds 4 pouces de distance du milieu de l'axe, la circonférence que ces points décriront, sera de 65 pieds, et si la machine fait une révolution en une seconde, elle aura la vitesse nécessaire pour fournir la quantité requise de 10 pieds cubes d'eau par minute. En augmentant le diamètre, hh de révolution on pourra arranger les choses de façon que pour de plus grandes hauteurs il ne faille toujours qu'une révolution par seconde. Enfin, pour diminuer la résistance que l'air oppose à un mouvement si rapide, on pourra couvrir toute la partie de la machine hors de l'eau, d'un cône de toile peinte à l'huile.

Tel est le calcul du produit de cette machine. Celui de la force nécessaire n'est pas moins simple. Supposons que nous voulions mouvoir cette machine par des chevaux. La foree d'un cheval s'exprime par le produit de sa vitesse, qu'on estime à 3 pieds par seconde, et d'un poids qu'on estime à 175 ℔. La résistance

à surmonter est une masse d'eau de $\frac{1}{6}$ pied cube ou $11\frac{2}{3}$ livres chaque seconde, avec une vîtesse de 1 pied par seconde. Mais pour élever cette masse d'eau à 66 pieds il lui faut donner une vîtesse de 63 pieds par seconde qui est absorbée en entier par le poids de la colonne d'eau de 66 pieds de hauteur verticale. Ainsi la force de résistance est égale au produit de $11\frac{2}{3}$ livres par une vîtesse de 64 pieds. Si donc nous divisons ce produit de $11\frac{2}{3}$ et 64 par la vîtesse de 3 pieds qu'à le cheval, le quotient 249 livres sera l'effort que les chevaux devront faire. Or celui d'un cheval étant de 175 livres, il est clair que deux chevaux pourront mouvoir cette pompe et produire l'effet désiré avec facilité. On attelle les chevaux ordinairement à un rayon de 18 pieds et la circonférence qu'ils ont à faire étant parconséquent de 113 pieds, ils la parcourreront en 28 secondes. Or comme la pompe doit faire une révolution en une seconde, il est clair qu'elle en doit faire 28 tandis que les chevaux en font une. C'est là-dessus qu'on règlera l'engrennage. Mais que dis-je? Ici nous pouvons nous passer de roues dentées et employer avec avantage des cordes sans fin, parce que cette machine n'est sujette à aucune secousse, à aucune inégalité dans sa marche, et offre dans la masse de la pompe mue avec tant de vîtesse une roue d'inertie très puissante, qui compensera les petites inégalités de la marche des chevaux.

Mr. de T. Hommage à la pompe centrifuge!

Le Comte C. J'y consens bien volontiers et je ne doute pas que nous n'en fassions tous de même.

Mr. de P. A l'exception de Mde. *de L.* qui a

cette fois-ci payé cher sa complaisance à entendre parler de machines.

Mde. de L. Pourquoi me supposez vous Mr. *de P.*, si peu d'intéret pour les machines utiles?

Mr. de P. Dans ce moment, Madame, pour me rappeller qu'il est bien tems que je finisse si je ne veux pas trop abuser de la bonté que vous avez eue de m'entendre.

VINGTCINQUIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de V.* (ironiquement). Je suis curieux de savoir de quoi Mr. *de P.* nous parlera aujourd'hui. Après la pompe centrifuge peut-il y avoir encore quelque chose d'attrayant dans le mouvement des liquides?

Mr. de P. (sur le même ton). Cet enthousiasme sincère pour la pompe centrifuge mériteroit bien que je pusse vous répondre négativement. Maîs par malheur j'ai à vous entretenir des erreurs des Physiciens dans la théorie du *choc des liquides*; et cela vous amusera sûrement.

Mr. de L. Dieu merci! Mr. *de P.* avoue enfin que les Physiciens peuvent tomber dans l'erreur.

Mr. de P. J'ai eu tort assurément de faire cet aveu; car comme les Philosophes n'errent jamais, voilà les pauvres Physiciens bien mal dans leurs affaires! — Mais venons en aux nôtres. Le premier problème que nous avons à résoudre est bien simple. Il s'agit de mesurer le choc d'un fluide d'une vîtesse donnée sur une surface plane qu'on lui oppose à angles droits. Pour cela il ne faut que consulter l'expérience; en effet on adapte une surface plane, de bois vernissé ou de métal, assez épaisse pour ne pas plier, au bout du fléau

d'une balance et à l'autre bout un bassin dans lequel on met des poids qui font équilibre à celui de la surface. En suite on place cet appareil près d'un grand vase plein d'eau, qui a une ouverture et un tuyau court à son fond, de sorte que le milieu de la plaque; qui doit être choquée par la veine d'eau, se trouve justement au dessous du milieu de l'ouverture d'écoulement et à une petite distance. Enfin ou débouche l'ouverture et on a soin d'entretenir l'eau dans le vase toujours à la même hauteur. Le choc de l'eau fait baisser la plaque, et on met de l'autre côté assez de poids pour lui redonner sa position horizontale en dépit du choc. Ce poids ajouté est égal à ce qu'on appelle le choc de l'eau.

Ces expériences ont été faites et repétées par l'ancienne Académie de Paris, par Daniel Bernoulli, Bossut et Langsdorf surtout. Le dernier a poussé le nombre de ses expériences jusqu'à 79 et toutes ont fourni des résultats à très peu de chose près égaux.

Mr. de T. Voudriez - vous bien nous dire en quoi consistant ces résultats, c'est-à-dire la règle qu'on en a tiré pour calculer la force du choc de l'eau?

Mr. de P. Pourrois-je me dispenser de ce devoir, surtout vis-à-vis de vous? Ce résultat s'exprime généralement de la manière suivante: *Le choc de l'eau sur une surface perpendiculaire à la veine d'eau est égal au poids d'une colonne d'eau d'une hauteur double de celle qui est dûe à la vitesse de l'écoulement, et d'un diamètre égal* (non à celui de l'orifice) *mais au diamètre de la veine resserrée.*

Prenons un exemple. Soit

de 30 pieds par seconde, la hauteur de l'eau due à cette vitesse sera de 15 pieds, dont le double est 30 pieds. Nous multiplions ces 30 pieds par $\frac{81}{100}$ qui est le rapport de l'orifice à la coupe de la veine resserrée pour le cas où l'eau s'écoule par un petit tuyau, et nous avons $24\frac{1}{3}$ pieds pour la hauteur d'une colonne d'eau du diamètre de l'orifice d'écoulement, dont le poids est la mesure du choc de l'eau contre la surface qu'on lui a opposée verticalement à sa direction. Ce diamètre étant connu, on peut aisément calculer la somme de pieds cubes d'eau contenus dans cette colonne, et en multipliant cette somme par 70 livres, en aura le choc cherché exprimé en livres de France.

Voilà, Monsieur *de T.*, le résultat que vous désiriez savoir, constaté par plus de cent expériences.

Mr. de T. Et qui sûrement mérite foi.

Mr. de R. Surtout par les noms illustres des auteurs de ces expériences.

Mr. de V. S'il faut bâtir en Physique sur l'autorité des expériences, assurément on ne peut mieux étayer son édifice.

Mr. de P. Eh bien! messieurs, ce résultat est faux!

Mrs. de R., de T., de G., le Comte B. Cela est-il possible?

Mr. de L. J'ai prévu la malice de Mr. *de P.*, lorsqu'il vous amenoit insidieusement à vous récrier sur la foi qu'on doit à ce théorème, et c'est pourquoi je me suis tu. Mais à présent nous voulons l'attaquer à notre tour et ne pas lâcher prise jusqu'à ce qu'il nous

ait prouvé que l'Académie, Bernouilli, Bossut et Langsdorf ont tort.

Mr. de P. Ajoutez y, Général, Kraft, Sgravesande et plusieurs autres noms illustres pour m'intimider davantage. D'abord je commence par opposer expérience à expérience. Le chavalier Du Buat, dont le nom ne le cède en célébrité à aucun de ceux des expérimentateurs nommés, a fait et varié l'expérience suivante:

Soit AB (fig. 37) un tuyau de verre; ouvert aux deux bouts et recourbé par le bas. C est un plus gros tuyau scellé au tuyau de verre et armé d'une plaque ab au milieu de laquelle est un trou dont on peut varier le diamètre. Le tout est disposé de sorte que la plaque et son orifice, de même que la branche AB du tuyau, soient dans une situation verticale. Précisément vis-à-vis de l'orifice de la plaque se trouve l'orifice vertical D, terminé par un petit tuyau cd et appliqué au côté d'un vase EFHG plein d'eau et qu'on entretient toujours plein à la même hauteur EF. Aussi tôt que l'eau s'écoule par l'orifice D, elle monte dans le tuyau BA et s'y soutient constamment au niveau A qui est le même que le niveau EF.

Si donc le théorème précédent étoit vrai, il faudroit que, dans la supposition que la hauteur ED dans le vase fut de 15 pieds, la hauteur AB dans le tuyau fut de $24\frac{1}{2}$ pieds; l'expérience prouve qu'elle n'est que de 15 pieds.

Mr. de G. Cette exp[illegible] peut pas être adoptée, parce que l'eau [illegible] une ouvertu-

re latérale au lieu que dans les précédentes elle s'écouloit par le fond.

Mr. de P. Du Buat avoit apparemment prévu cette objection et a varié l'expérience en faisant écouler l'eau par le fond du vase et en adaptant un tuyau recourbé en syphon pour recevoir le choc de l'eau; il a obtenu le même résultat. En outre les 79 expériences de Langsdorf ont été faites avec un écoulement latéral.

Mr. de T. Mais je vois dans votre dessin que l'orifice D est plus grand que le trou dans la plaque ab. Donc la colonne d'eau contenue dans le tube AB ne reçoit pas toute l'impulsion de la veine d'eau.

Mr. de P. Mais cette colonne d'eau ne presse contre la veine qu'à raison de l'ouverture de la plaque ab. Du reste Du Buat a également prévu cette objection; il a donné différents diamètres à cette ouverture et le résultat a été le même. Il'a fait plus: il a substitué au tuyau C avec sa plaque un entonnoir dont le diamètre étoit plus grand que celui de l'orifice D, et qui parconséquent recevoit toute l'eau de la veine; la hauteur de la colonne d'eau dans le tube AB s'est trouvée — — un peu moindre qu'auparavant, plus petite que ED, à cause des courans obliques de l'eau à son reflux hors de l'entonnoir.

Mr. de V. Ce chevalier Du Buat est bien ferré.

Mr. de P. Ajoutez, messieurs, à ces expériences celles que j'ai faites sur la force centrifuge de l'eau. Dans ces expériences nous avons assurément le choc de l'eau le plus parfait qu'on puisse imaginer; il ne se perd pas une goutte d'eau; il n'y a point de déviations,

rien qui trouble l'action du liquide qui se meut par la force centrifuge le long des tuyaux horizontals, et le résultat est: que la colonne d'eau élevée dans les tuyaux verticals est la même que la hauteur due à la vitesse et non le double. Je m'en suis bien assuré par les effets de la pompe centrifuge.

Mr. de L. Je m'imaginois bien que la pompe centrifuge joueroit ici son rôle.

Mr. de R. Mais exigerez-vous donc, monsieur *de P.*, que nous abandonnions les résultats de tant d'expérimentateurs pour nous rendre à ceux de Du Buat et aux vôtres?

Mr. de P. Pas du tout, et je ne veux autre chose sinon que vous reconnoissiez que j'ai opposé expérience à expérience, et que parconséquent c'est à la théorie à d'écider.

Commençons par examiner les expériences de Bossut et de Langsdorf qui sont les plus précises de toutes. D'abord j'observe que la distance, à la quelle on place la plaque choquée de l'orifice d'écoulement, influe sur le résultat. On a trouvé que quand on la place fort près, le résultat est la hauteur simple due à la vitesse de l'écoulement, la hauteur de l'eau dans le vase; à 1 pouce de distance Bossut a obtenu moins du double, à environ 2 pouces elle est presque le le double, et à 3 pouces de distance elle est de nouveau moindre que le double. Quelle raison avons-nous de regarder une distance d'environ 2 pouces comme normale, comme la vraye distance qui doit servir de règle?

La grandeur de la plaque exposée au choc a encore

beaucoup plus d'influence. Si on lui donne précisément le même diamètre qu'à l'orifice d'écoulement, et si on la place à 1 pouce de distance de cet orifice, le choc est à peu près égal au poids de la hauteur simple due à la vitesse. Bossut lui a donné un diamètre de plus du double et a obtenu constamment pour résultat un peu moins que la hauteur double. Langsdorf lui a donné un diamètre quadruple, c. à. d. une surface 16 fois aussi grande que celle de l'orifice et a trouvé un résultat tantôt un peu plus petit, tantôt un peu plus grand, le plus souvent égal à la hauteur double. Que devons-nous en conclure?

Mr. de T. Que les expériences du chevalier Du Buat et les vôtres sont les vraies et seules décisives, puisqu'elles ne sont pas sujettes à toutes ces variations.

Mr. de P. C'est trancher le noeud gordien. La théorie exige qu'on le dénoue, c. à. d. qu'on ammène toutes ces expériences à un seul résultat.

Mr. de T. Mais comment faire?

Mr. de P. Je commence par une dispute de mots.

Mr. de L. Mauvais augure! Méthode décréditée!

Mr. de P. Je le sais; mais pour bien raisonner il faut savoir la valeur précise des mots qu'on emploie. Je mets en fait que dans le phénomène en question il n'y a point de choc, mais simplement une pression, parce qu'il y a continuité perpétuelle d'attouchement entre le fluide qui s'écoule et la plaque qui s'oppose à son mouvement. Cela explique d'abord la différence d'effet qu'occasionnent les surfaces de grandeurs différentes.

Mr. de T. Comment cela?

Mr. de P. Il suffit d'avoir observé une seule fois le phénomène. Lorsque la veine d'eau arrive à la plaque, les parties du fluide qui ont frappé la plaque existent encore; elles ne sont pas anéanties. Pour faire place aux suivantes il faut qu'elles s'échappent de côté et elles s'échappent ainsi en effet. Dès le premier instant du soi-disant choc il s'établit un écoulement latéral du fluide sur la plaque, dans tous les sens à partir du centre; c'est une nappe d'eau qui coule de ce centre vers tous les points de la circonférence. Les filets suivants de la veine d'eau, qui arrivent à cette nappe mouvante, sont emportés au dehors, et la veine d'eau prend la forme d'un entonnoir très évidé que je vais vous dessiner (fig. 38). A est le réservoir, B un tuyau court qui produit l'écoulement, DCE la plaque; C son centre qui se trouve dans l'axe CB de la veine d'eau. abde et acgf sont les courbes que la veine prend. Toute l'eau contenue dans cet espace conique curviligne bdefgc, constamment refoulée contre la plaque ED se trouve dans un état d'élasticité qui est différente dans différents points. A la surface extérieure cette élasticité est égale à zéro. Au point C elle est à son maximum et égale à celle que peut produire la colonne d'eau contenue en A. De là cette élastcité diminue dans tous les sens et dans tous les points intérieurs du cône. Cette élasticité que l'eau a à la surface de notre plaque, voilà proprement l'impulsion de la veine d'eau sur la plaque.

Mr. de T. Mais comment vous assurez-vous

cette élasticité variable de l'eau sur tous les points de la surface de votre plaque?

Mr. de P. Par l'expérience suivante: Je fais plusieurs petits trous à différents points de la plaque, l'un au milieu C. Chacun de ces trous fournit une veine d'eau particulière qui dévie de la direction de la grande veine. Celle du milieu seule garde cette direction primitive et décrit la même parabole que la grande veine l'orsqu'on ne lui oppose pas de plaque; les autres décrivent toutes des paraboles obliques, et d'autant plus courtes que l'ouverture est plus éloignée. de C. Or comme l'eau arrive à tous ces orifices en lignes parallèles à la plaque et sur la plaque même, elle passeroit outre et ne formeroit pas de veines derrière la plaque, si elle ne se trouvoit dans un état de compression comme dans l'écoulement ordinaire.

Mr. de T. Je conçois cela et je vous prie de nous donner la conclusion qui mettra l'accord désiré entre les deux genres d'expériences.

Mr. de P. Volontiers. Notre plaque éprouve donc une infinité de pressions inégales, symétriquement rangées autour du centre C et de plus en plus petites à mesure qu'elles s'en éloignent, qui diminuent peut-être en raison des hauteurs dh, di &c. des courbes bde et cdf; et les expériences de Bossut et de Langsdorf prouvent uniquement que la somme de toutes ces pressions est égale à celle d'une colonne d'eau dont la hauteur est double de celle de l'eau dans le vase A.

Mr. de T. Mais cette pression ou cette somme

de pressions n'est-ce pas ce qu'on appelle le choc de la veine d'eau?

Mr. de P. Non, Mr. *de T.*; car nous n'avons jamais dans nos machines hydrauliques la possibilité d'opposer à une veine ou à un courant d'eau une surface dont le diamètre soit quadruple mais de règle d'un diamètre un peu plus petit: celui du courant, que témoin les aubes de nos roues de moulin, qui doivent se mouvoir dans le coursier et être nécessairement un peu plus petites que la coupe du coursier et par conséquent plus petites que la coupe du courant d'eau qui le parcoure. En outre, comme le but de toutes nos machines hydrauliques, de toutes nos expériences sur le choc de l'eau, est que la surface choquée, comme par ex. l'aube d'une roue de moulin, se meuve, cette surface fuit le courant avec une vitesse, à la vérité moindre que celle du courant, mais assez grande pour échapper à toutes les pressions qui produisent des vitesses égales et moindres; en sorte que l'augmentation de surface seroit en pure perte.

Ainsi les résultats des expériemes du Chevalier Du Buat, et des miennes sur la force centrifuge, sont les seules qui nous fournissent la vraie quantité de force que produit un courant contre une surface qu'on lui oppose. Et si cette surface se meut par l'action du courant, il faut retrancher la vitesse de la surface de celle du courant; et la hauteur de la colonne d'eau, due à cet excès de vitesse du courant sur celle de la surface, détermine la quantité de la force requise; c. à. d. que la pression de cette colonne d'eau, de la hauteur désignée et de base égale à celle du courant, est

la force qui doit faire équilibre à la résistance à vaincre pour produire le mouvement désiré de la surface choquée.

Mr. de T. Veuillez, Madame, me permettre de prier Mr. *de P.* de vouloir bien m'expliquer par un exemple la règle qu'il vient d'établir et qui me paroît être très pratique.

Mde. de L. Avez-vous donc besoin, mon bon Mr. *de T.*, de ma permission pour cela? Vous êtes toujours trop modeste.

Mr. de V. Au moins Mr. *de T.* ne suit pas la règle des avocats; demander l'injuste pour obtenir le juste.

Mr. de P. Supposons, Mr. *de T.*, que pour une machine quelconque vous ayez calculé la vîtesse que doit avoir le centre de l'aube d'une roue hydraulique qui doit mouvoir votre machine, et que cette vîtesse soit de 16 pieds par seconde, celle du courant d'eau, qui frappera l'aube, de 45 pieds. La vîtesse du choc sera donc de 29 pieds. Vous calculez alors la hauteur de la colonne d'eau due à cette vîtesse de 29 pieds, que vous trouvez être de 14 pieds. Supposons que chaque aube de votre roue hydraulique ait un pied carré de surface, alors la force de votre courant sera égale au poids d'une colonne d'eau de 14 pieds de hauteur et d'un pied carré de base, c. à. d. un poids de 14 pieds cubes d'eau ou de 980 livres; et si la résistance que produit la machine sur le centre de l'aube, y compris le frottement et d'autres résistances accessoires, n'excède pas ces 980 livres, alors la machine ira avec une vîtesse de 16 pieds par seconde. Il faut au

reste compter sur un déchet d'environ $\frac{1}{10}$ de la force, parce que les aubes de la roue, en se mouvant dans la partie inférieure du coursier, se présentent au courant successivement sous des directions un peu obliques.

Mr. de T. Je vous suis obligé de votre complaisance.

Mr. de P. La force de l'eau peut être employée à mouvoir des machines d'une toute autre manière et même souvent avec plus d'avantage qu'au moyen des roues de moulin. Cette espèce d'action de l'eau se nomme *Réaction*. Je vais tâcher de vous en donner l'idée aussi clairement que possible. Ce que je vous dessine (fig. 39) représente un cylindre creux A B plein d'eau. Il est clair que le poids de l'eau produira sur tous les points de la surface intérieure de ce cylindre des forces d'élasticité qui seront en raison des hauteurs de l'eau au dessus de ces points. Imaginez deux petites portions égales de cette surface intérieure, C et c, à la même profondeur au dessous du niveau de l'eau; il est clair que l'eau exercera sur ces deux petites surfaces des pressions égales. Si à présent nous enlevons la petite surface C, afin que l'eau s'écoule par cet orifice, la pression ou l'élasticité de l'eau se trouvera là employée à produire un écoulement; cette force n'agira donc plus contre la surface intérieure du cylindre, tandis que la force opposée en c agira toujours sur le côté du cylindre opposé à celui de l'écoulement. Ainsi l'équilibre de pression et d'élasticité est rompu, et nous avons une force qui tend à pousser le cylindre entier dans la direction C c, c'est à dire en arrière de l'écoulement.

Mr. de R. Est-ce sérieusement, Mr. *de P?* Ou bien est-ce un piège que vous tendez à notre crédulité?

Mr. de P. La singulière question! Il me semble avoir dûment prouvé la chose. Voulez-vous vous en assurer par une expérience, placez un peu au dessus du centre de gravité de tout le cylindre un axe a qui le traverse et le fasse porter sur deux apuis; alors le cylindre plein d'eau et vertical tant que l'eau ne s'écoule pas par l'orifice c, s'incline au moment où l'écoulement commence, dans une direction opposée à celle de l'écoulement; et la force qui le fait pancher doit être et est réellement égale à la force qui fait écouler l'eau, c. à d. à une colonne d'eau de la hauteur CA et dont la base est égale à la surface de l'orifice, sauf, comme toujours, à retrancher le déchet causé par le resserrement de la veine.

Mr. de R. Voilà une singulière espèce d'action des fluides! Cest comme un coup fourré de la Nature.

Mr. de T. Mais comment appliquer cette espèce de force, ce coup fourré, à faire mouvoir une machine?

Mr. de P. Un Professeur allemand, nomme Segner, nous l'a appris. Prenons le crayon. Voilà un cylindre creux ACBD (fig. 40) comme le précédent, surmonté d'un bord évasé pour recevoir l'eau dont il doit être constamment rempli. Nous fixons à son milieu un axe FE sur le quel il se meut autour des points E et F. Puis nous adaptons deux tuyaux horizontals KG et IH fermés à leurs extrémités G et H, qui communiquent avec le cylindre, en sorte qu'ils se remplissent d'eau en même tems que le cylindre. Près des

extrémités G et H nous faisons deux ouvertures a et c sur les flancs opposés de ces tuyaux. L'eau, en s'écoulant par ces deux ouvertures, exerce sa réaction sur les côtés opposés des tuyaux, qui dès lors agissent comme leviers et font tourner la machine.

Mr. de T. Cela est très ingénieux.

Mr. de P. Assurément, et j'ajouterai que, surtout pour les cas où l'on n'a à disposer que d'une petite quantité d'eau qui tombe d'une hauteur considérable, cette roue hydraulique est bien plus avantageuse que les roues à aubes et à auges. Cette machine ne cause aucune perte, ni de l'eau ni de son effet.

Mr. de T. Elle est en quelque sorte l'inverse de la pompe centrifuge. L'une fait monter l'eau en la faisant passer dans des tuyaux qui s'éloignent de plus en plus de l'axe de révolution; l'autre produit une force motrice en faisant également passer l'eau aux extrémités de tuyaux que l'écoulement fait mouvoir.

Mr. de R. Il faut avouer que, si la Nature est immensement riche, l'homme est bien industrieux dans l'emploi de ces richesses.

Mr. de P. J'ajoute à votre remarque que la Nature sait également se servir de ce même mécanisme quand l'envie lui en prend? Vous connoissez les mollusques sémés dans l'océan avec une profusion inconcevable, et de genres et d'espèces extrèmement variés. Dans le genre des Biphores (Salpa) il y a une espèce qui est composée uniquement d'un tuyau renflé vers le milieu et ouvert par les deux bouts, dont l'ouverture antérieure est d'un diamètre à peu près double de celui de l'ouverture postérieure. Cet animal a environ 3

pouces de longueur et un et un quart de pouce dans son plus grand diamètre. Il nait et vit en familles, dont les individus, jusqu'au nombre de dix, sont rangés circulairement l'un près de l'autre et arrètés dans cette position par un alongement latéral de leur substance, espèce d'excroissance également vide qui s'étend jusqu'au milieu du cercle de la famille, où ils forment un noyau solide. Cet animal, de même que d'autres espèces du même genre qui ne vivent pas en famille, se meuvent dans leur élément par le principe de la réaction et de la manière suivante:

Le tuyau qui compose tout leur corps étant toujours plein d'eau, ils ferment l'ouverture antérieure et compriment en suite leur corps sur toute sa longueur pour faire sortir l'eau avec vîtesse par l'autre ouverture. Cet écoulement produit une réaction sur la partie antérieure fermée et fait avancer chaque individu et parconséquent toute la famille. Ce premier pas étant fait, tout se r'ouvre à la fois et l'eau pénètre des deux côtés dans l'animal pour être rechassé une seconde, puis une troisième, quatrième, fois et ainsi de suite.

Mde. de L. Mais comment ces animaux, qui sont assurément bien bêtes, s'entendent-ils à faire cette manoeuvre tous à la fois et au même tact?

Mr. de P. Cette manoeuvre commence ordinairement par un des individus de la famille et se propage de voisin a voisin. Aussi, avant que la manoeuvre soit génerale, cette sotte famille fait quantité de tournoyemens ridicules qui finissent par un mouvement progressif très régulier. La même espèce de Biphore produit aussi des individus qui vivent isolés et qui se

distinguent des autres par quelques caractères marqués. Ce qui prouve que ces deux Bisphores sont de la même espèce (ce dont on pourroit douter avec raison) c'est qu'elles naissent alternativement l'une de l'autre, en sorte, que l'enfant ressemble toujours au grand-père, jamais au père. Le père et la mère sont un seul individu, de même le grand-père et la grand-mère, ce genre d'animaux étant, comme l'on sait, hermaphrodite. Les naissances sont alternativement des individus isolés et des individus en famille; L'animal né en famille porte son fruit isolé dans son intérieur vide et suspendu à une espèce de nombril; et comme ce genre d'animaux est transparent on voit cette petite bête suspendue au milieu de sa mère s'exercer à la manoeuvre de la marche chaque fois que la maman et le reste de la famille voyagent. Cet animal isolé produit, dès qu'il est grand et vit sur ses crochets, non des individus isolés comme lui, mais une profusion incroyable de familles. *)

Puisque nous parlons de machines ingénieuses, je vais vous décrire un mécanisme encore plus surprenant, dont nous devons l'idée à Montgolfier, l'inventeur

*) Je dois ces faits tout nouveaux et intéressans sur cette espèce de Biphore au Docteur Eschholz qui a fait le voyage autour du monde sur le Ruric et recueilli quantité de faits nouveaux sur les mollusques qu'il a observées avec une patience et une sagacité peu communes. Cette expédition, fruit de la libéralité unique du Comte Nicolas Romanzoff pour les sciences, étoit commandée par le lieutenant de vaisseau Otton de Kotzebue et avoit pour but principal une reconnoissance des régions glaciales du Nord et des découvertes dans la mer du Sud.

des aérostats. On lui a donné le nom de *bélier hydraulique.*

Soit A (fig. 41) un reservoir d'où sort un long tuyau ab renflé à son bout bcd pour y adapter une soupape cx qui se ferme en montant et s'ouvre en retombant. Ce tuyau communique en outre avec la partie inférieure d'un vase iklmn en forme de cloche. Ce vase a deux fonds, l'un mn qui le ferme par en bas, et un autre il, qui porte une soupape f qui s'ouvre en montant et se ferme en tombant. Au travers du sommet de ce vase passe le tuyau hg qui plonge jusques près de la soupape f. Le vase doit-être bien fermé de tous côtés.

Versons à présent de l'eau dans le réservoir A jusqu'en q. Cette eau coulera le long du tuyau ab et fermera par sa pression de bas en haut la soupape c et ouvrira la soupape f pour remplir le vase km. L'eau, arrivée au bout h du tuyau montant, ferme la sortie à l'air qui est dans le vase kl et le comprime. L'eau cessera donc de couler lorsqu'elle aura atteint une certaine hauteur g dans le vase et jusqu'en o dans le tuyau montant; et tout sera en équilibre.

Pressons à présent un instant sur la tige x de la soupape c pour donner issue à l'eau, qui s'écoulera facilement. Cet écoulement fait avancer toute l'eau du long tuyau ab en avant, vers les extrémités de l'appareil, et ferme un instant après la soupape c. Cette soupape c étant fermée, l'eau produit par son inertie un choc contre la soupape f qu'elle ouvre et contre l'air renfermé au dessus qui se trouve par là plus comprimé qu'auparavant. Cette compression de l'air fait monter l'eau, qui vient

d'entrer dans la cloche, dans le tuyau montant, jusqu'à une certaine hauteur que nous supposons en p.

Si l'on répète la pression sur la soupape en x une seconde, une troisième fois, alors le choc de l'eau, que je viens de décrire, se répète aussi souvent et à chaque fois l'eau monte un peu plus haut dans le tuyau hg et finit par atteindre son orifice supérieur et par s'écouler à cette hauteur.

Mr. de T. Ce mécanisme est assurément très ingénieux; Mais je trouve incommode et couteux d'entretenir au homme tout exprès pour ne rien faire que de baisser la soupape c chaque fois qu'elle doit s'ouvrir.

Mr. de P. Vous avez bien raison, et ce seroit un grand défaut à reprocher à cette machine. Mais elle ne l'a pas; aucontraire la machine elle-même produit cet effet, et si je supposois dans ma description, qu'un homme pressât à chaque fois la soupape c, c'étoit pour vous faire apercevoir bien distinctement deux opérations de cette machine essentiellement différentes l'une de l'autre.

Nous supposerons que l'eau du long tuyau ait donné son choc au moment où la soupape c se referme. Ce choc se porte sur l'eau et sur l'air contenus dans la cloche. Leur élasticité réagit non seulement sur la colonne d'eau élevée dans le tuyau montant, mais aussi par la soupape f qui est un instant ouverte, sur l'eau au dessous de cette soupape; il se fait par là un petit écoulement d'eau de la partie supérieure de la cloche dans la parti inférieure qui force l'eau du long tuyau, qui est en cet instant stationnaire, à rebrousser chemin tant soit peu. Aussitôt après, la soupape f est fermée

de ... a reçu ce petit mouvement rétrograde ... re en vertu de l'inertie et continuant cette marche rétrograde qui ... urément un vide dans la partie bd du ... l'instant la pression de l'atmosphère ouvre ... upape c et le jeu précédent recommence.

Mde. de L. J'ai eu bien de la peine à vous suivre, Mr. *de P.*, mais cependant j'en suis venue à bout et si je ne craignois d'empiéter sur les droits de Mr. *de T.*, je déclarerois cette machine la chose la plus ingénieuse qu'on puisse imaginer.

Mr. de T. Je m'enorgueillis, Madame, de vous imiter dans l'éloge que vous faites de ce mécanisme, fondé sur des considérations si délicates.

Mr. de P. Je désirerois beaucoup pouvoir vous faire cette belle expérience, sur tout avec un modèle que je possède et où une partie du long tuyau est en verre et fait voir à la vue, lorsqu'on emploie à dessein de l'eau un peu malpropre, la marche de l'eau en avant et en arrière, la première marche toutes fois beaucoup plus grande que la seconde; marche double qui est l'âme de cette machine.

Mr. de T. Mais jusqu'à quelle hauteur peut-on faire monter l'eau au moyen de ce beau mécanisme?

Mr. de P. A la hauteur que vous voudrez.

Mr. de T. Mais comment est-ce possible?

Mr. de R. Ainsi jusqu'aux nues;

Mr. de P. Jusqu'à Uranus, si vous établisez un tuyau qui aille jusques là.

Mr. de R. Peut-être, si j'établis un réservoir plein d'eau qui aille jusqu'à Saturne.

Mr. de P. Point du tout. Etablissez un tuyau montant qui aille jusqu'à Uranus et je m'engage d'y faire monter l'eau avec un réservoir d'un pied de hauteur.

Mde. de L. Vous plaisantez, Mr. *de P.*,

Mr. de P. Assurément, Madame, lorsque je parle d'Uranus; car je doute fort que Mr. de *R.* soit tenté de fournir aux frais du tuyau-montant. Mais ce qui est vrai, c'est que, pour une hauteur donnée de l'eau dans le réservoir A, il n'y a point de hauteur pour le tuyau-montant à la quelle cette machine ne puisse porter l'eau. Montgolfier a élevé à ce qu'il assure, de l'eau jusqu'à la hauteur de 1280 pieds.

Mr. de T. J'avoue que je ne conçois pas ce paradoxe.

Mr. de P. Vous le concevrez à l'instant dès que vous vous rappellerez que l'eau et l'air sont élastiques. L'eau du long tuyau est une masse choquante, et l'air de la cloche est l'intermédiaire qui transmet le mouvement de l'eau du long tuyau à celle du tuyau-montant. Supposons que la masse d'eau contenue dans le tuyau-montant soit égale à la masse d'eau du tuyau horizontal, il est clair que s'il n'y avoit d'ailleurs d'autre empèchement, celle-là obtiendroit la même vîtesse de mouvement que celle-ci. Si celle-là est plus grande, la vîtesse sera seulement moindre, mais jamais infiniment petite ou égale à zéro, quelque grande que soit la hauteur du tuyau montant; mais il est sur en revanche que la quantité d'eau élevée est toujours d'autant plus petite que la hauteur est plus grande.

Ceci explique pourquoi on a toujours de l'avantage à établir un tuyau horizontal *ab* fort long, parce que

la force, qui est représentée par la marche de l'eau de ce tuyau, est proportionelle à la longueur. Au reste la force du choc ne décide pas de la quantité du produit de la machine, mais c'est la quantité d'eau qui s'écoule à chaque pulsation par la soupape c, parce que c'est d'elle que dépend la marche de l'eau en avant et la quantité de celle qui s'introduit dans la cloche par la soupape f — — Mais en voilà bien assez sur une machine qui est peu praticable en grand.

Mr. de T. Comment? Vous m'étonnez!

Mr. de L. Comme voilà Mr. *de T.* tout ébahi! Aussi n'est-ce pas peu de chose que de perdre tout-à-coup une pareille machine!

Mde. de L. Mais pourquoi nous faites-vous une surprise si désagréable?

Mr. de P. Je suis bien fâché, Madame, d'avoir encouru votre disgrâce; mais je crois ne l'avoir pas méritée. C'est la Nature et non moi qui a ménagé cette surprise à Mr. *de T.* Cette machine agit par chocs; et ces chocs de la masse d'eau du tuyau horizontal sont si violents qu'ils détruisent les points d'apui les plus solides qu'on puisse leur opposer pour asseoir la machine.

Le jeune de T. Comme il ne m'arrive pas très souvent de faire le moraliste, permettez moi ma chère Maman, sans vouloir au reste ternir le mérite de l'invention, de faire l'application de l'espèce de fable que Mr. *de P.* nous a faite: Le brillant et n'est pas toujours solide.

Mr. de P. Pour vous témoigner ma reconnoissance de cette belle application, qu'un si jeune officier aux gardes fait si rarement, je vais vous décrire une au-

tre machine hydraulique qui a bien plus de solide que de brillant, *la vis d'Archimède.*

Je vous dessine d'abord une vis ordinaire (fig. 42) placée verticalement et munie d'une mannivelle E, au moyen de la quelle on puisse faire tourner la vis sur son axe DC. Je suppose que la force supérieure des filets soit un peu creuse. Plaçons à présent sur un des filets ce une petite boule; il est clair que cette boule, abandonnée à elle-même tombera en roulant le long des filets de la vis comme sur un plan incliné. Pour la retenir au point où on l'a placée il faudra employer une certaine force dans la direction aF, force qui dépend de l'inclinaison de la surface ce vers l'horizon. A présent panchons la vis entière un peu du côté de F; il est évident que le plan ce sera moins incliné à l'horizon qu'auparavant, et qu'il faudra moins de force pour retenir la petite boule. Or on peut augmenter l'inclinaison de la vis du côté de T en sorte que le plan ce devienne horizontal, et alors la petite boule se tiendra d'elle-même à sa place. Enfin nous pouvons incliner la vis tellement que le plan ce incline vers F; et dans ce cas la petite boule tombera du côté de F jusqu'à ce qu'elle arrive en e qui est le point le plus bas de cette surface ce. A présent replaçons la vis dans sa situation verticale et faisons la tourner sur son axe dans le sens de e en c, en sorte que le point e passe en a et en i; alors le point b du filet supérieur se trouvera du côté de e, et si nous faisons faire encore un demi tour à la vis, le point e se retrouvera à sa première place. Pendant ce mouvement nous supposons la balle retenue par la force

dans le sens eF; elle ne peut donc pas rester en place; elle doit monter toujours dans la direction eF. Ainsi après une révolution de la vis elle se trouvera en d, sur le filet suivant et parconséquent élevée de la hauteur verticale e d du filet.

Replaçons maintenant la vis dans cette situation inclinée qui force la balle de tomber dans le sens eF jusqu'en e, et abandonnons la balle à sa pesanteur. Sa pesanteur c. à. d. la force qui la fait tomber, tiendra lieu de la force eF, et si on tourne la vis entière dans le sens indiqué, mouvement qui amène des portions du filet supérieur à la position horizontale, la balle en tombant arrivera successivement à tous les points du filet supérieur, et arrivera, après une révolution entière de la vis, à la hauteur du filet suivant bd. Une seconde révolution de la vis la fera monter au filet suivant et ainsi de suite.

Supposez à présent que les filets de la vis ne soient que des bandes minces de bois et que la vis entière soit recouverte sur toute sa longueur de douves ou planches qui forment un cylindre, fig. 43, bien fermé sur toute sa surface courbe et ouvert aux deux extrémités; ce sera la vis d'Archimède. Placez la dans une situation dûment inclinée à l'horizon comme notre première vis, en sorte que sa partie inférieure plonge à un peu plus de moitié dans l'eau; si vous faites agir la manivelle, l'eau sera forcée de monter, comme auparavant la petite boule l'étoit et, après autant de tours de manivelle que la vis a de pas, elle s'écoulera par la partie supérieure.

Mr. de R. Ce mécanisme est étonnant, non seu-

lement par sa simplicité, mais surtout par le phénomène particulièr que l'eau monte en tombant.

Mr. de P. Votre observation est très juste, et ce paradoxe singulier s'explique en ajoutant que l'eau monte parce qu'en tournant la vis on élève les plans inclinés sur les quels elle se trouve sans que ces plans, ceux où l'eau se trouve, cessent d'avoir une inclinaison vers l'horizon qui force l'eau à tomber de l'un à l'autre quoi qu'ils s'élévent de plus en plus.

Ce mécanisme, si simple en apparence, n'est rien moins que facile à calculer; la Mécanique la plus profonde a peine à l'atteindre. Mais son application n'en est pas moins utile et presque générale partout où il est question d'élever de l'eau à de petites hauteurs. En Hollande sur tout, où le peuple batave a gagné son sol sur l'Océan par des digues d'une construction admirable, ce même Peuple défend ce même sol contre les eaux de pluïe qui ne peuvent s'écouler, en les élevant au moyen de la vis d'Archimède mue par un petite moulin-à-vent, machine répétée des milliers de fois sur la surface du pays et dont l'activité dure nuit et jour, pourvu qu'il y ait tant soit peu de vent. L'eau élevée par cette fourmillière de machines s'épanche dans des canaux qui, donnent à cette eau assez de pente pour arriver à la mer.

Mr. de G. Voilà de l'industrie! Voilà un Peuple qui peut dire que le sol lui appartient! Les autres Nations européennes ont envoyé des voyageurs et des brigands armés planter leurs étendards sur le reste de la surface du globe et ont cru par là s'acquérir un droit de possession. Mais dites nous Mr. *de P.*, depuis

quand les digues de la Hollande existent-elles, ces digues que tout le monde admire et que personne, à ce que je crois, ne connoit bien, hors les gens de l'art.

Mr. de P. Je serois charmé de pouvoir satisfaire votre curiosité, de pouvoir vous dépeindre cette nation solide, laborieuse, vraiment industrieuse, qui a exécuté cette idée gigantesque. Mais ce travail immense remonte à des tems reculés que l'histoire n'atteint pas. Les Romains à leur arrivée chez le Peuple batave ont trouvé les digues toute faites.

Mr. de L. Ouvrez l'histoire, et vous verrez que tout ce qui a été fait de grand, de sublime, de vraiment beau, l'a été dans des siècles que nous nommons barbares, par des Nations que l'histoire nous dépeint comme foibles et ignorantes. Le grand aqueduc de Rome et les cloaques encore plus admirables, ont été construits sous les Rois de Rome, à ce que dit l'histoire, et l'histoire nous trompe probablement. Les travaux critiques les plus récens sur l'histoire romaine nous forcent de douter de tous les faits de cettte époque et de présumer que ces grands travaux, dont les restes font l'étonnement du petit Européen d'aujourd'hui, sont bien antérieurs à la soi-disante époque des Rois de Rome.

Mr. de G. Cela rapelle le mot du célèbre Bacon: *Les Anciens sont la jeunesse de l'humanité; nous autres modernes en sommes les vieillards.*

Mr. de L. Longtems avant l'époque fabuleuse de l'arrivée d'Enée en Italie, les marais pontins, qui empoisonnent aujourd'hui jusqu'aux contrées de Rome,

avoient été desséchés par une colonie lacédémonienne, dans un tems où l'histoire nous dépeint la Grèce comme un pays barbare. Les Volsques ont succédé à cette colonie et ont continué les travaux de leurs prédécesseurs. A leur époque cette contrée comptoit vingt trois petites villes florissantes que les Romains ont trouvées et dont ils tiroient la subsistance pour leur Capitale. Mais les Romains anciens et modernes n'ont pas eu le bon esprit de continuer ces travaux avec assiduité. De tems en tems ils ont fait quelques efforts, mais sans succès marqués sous les consuls Appius et Cathegus, sous l'Empereur Auguste et sous quelques Papes, nommément Pius VI. La guerre ou la Politique paroissoient aux Romains civilisés préférables à la salubrité de l'air. Et ils avoient raison; car pour établir la peste morale il falloit pouvoir s'appuyer de l'exemple de la peste physique donné par la Nature. Nous nous vantons aujourd'hui de nos canaux, de nos ponts, de notre marine et je ne veux pas douter que ces travaux ne se fassent aujourd'hui avec plus d'art qu'autrefois. Mais quel usage en faisons-nous? Quel but ont ces travaux? Le commerce, c. à. d. le plaisir de boire du thé et du caffé, d'orner nos dames d'amples chawls qui ne pèsent que quelques onces! Dans le siècle dernier on a bâti quantité de nouvelles villes. Y en a-t-il une seule où l'on ait construit une fontaine comparable à ces belles fontaines qu'on retrouve dans toutes les anciennes villes d'Allemagne, qui fournissent jour et nuit une eau salutaire amené souvent de loin, qui ont été construites dans le moyen âge, dans des siècles que nous nommons barbares, au milieu des trou-

bles de la Chevalerie, des guerres que ces villes avoient à soutenir pour consolider. leur existence.

Le Comte C. Vous faites, Général, le *laudator temporis acti*, sans être encore un vieillard.

Mr. de L. Non, je ne loue pas les anciens tems sans réserve; Je connois les fautes des siècles passés, mais je sens vivement le vice du nôtre, la soif des jouïssances particulières, qui engloutit les ressources que les Etats auroient pour les vrais besoins, pour les jouïssances publiques. Si le mortel héroïque et bienfaisant, qui occupe aujourd'hui un des plus grands trônes du monde, réussit dans son projet sublime d'étouffer la guerre en Europe, ne fut-ce qne pour la durée de sa vie, alors je me rétracterai et deviendrai le panégyriste du siècle présent.

Mr. de P. Et pas le sien?

Mr. de L. La postérité le sera.

Mr. de P. Je suis bien reconnoissant, Général, de ce que vous avez mis cette belle matière sur le tapis. Continuons la le reste de notre soirée pour faire oublier l'aridité de mes machines hydrauliques et pour disposer Mde. *de L.* à entendre parler demain du mouvement de l'air.

VINGTSIXIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de G.* Vous nous ferez aujourd'hui du vent, mon cher ami.

Mr. de P. Je ne demanderois pas mieux, mon cher *G.*, pour faire voguer la galère de votre verve satyrique; mais malheureusement, bien loin de pouvoir faire du vent, je suis déjà embarassé pour vous parler du mouvement et du choc de l'air. Car nous pouvons affirmer assez positivement que nous n'en connoissons pas les lois.

Mr. de L. Messieurs les Physiciens, à ce qui paroît, veulent mettre la modestie à la mode.

Mr. de P. Bien contre leur gré. Je serois charmé de pouvoir vous faire croire que nous savons bien des choses sur ce chapitre. Mais c'est malheureusement celui de toute la Mécanique où la Nature se moque le mieux de nous.

Mr. de G. Dites nous au moins ce que les Physiciens ont fait dans cette partie.

Mr. de P. Ils ont inventé un moulinet pour mesurer la vîtesse du vent et cela leur a passablement réussi. Ils ont imaginé plusieurs machines pour mesurer la force du choc du vent, qui toutes ne valent rien,

sans en excepter la mienne. Ils ont construit un appareil pour mesurer la résistance de l'air contre une surface qui se meut dans l'air en direction verticale et oblique, et ils ont obtenu des résultats qui ne s'accordent avec aucune théorie. Puis le désespoir s'est emparé d'eux; ils ont bien examiné ces résultats et en ont fabriqué une règle, une formule, dont nous nous servons pour calculer non seulement la résistance mais aussi le choc de l'air. Enfin ce que nous savons de plus certain, c'est que, si même nous avions trouvé les règles que nous cherchions en théorie et par la voie des expériences, elles ne serviroient presque à rien en pratique.

Le Comte C. Voilà un joli tableau de cette partie de l'Hydrodynamique!

Mr. de P. C'est la raison de la grande modestie qu'on me suppose. Et ce qui m'amuse le plus dans tout cela, c'est que c'est précisément dans cette partie que j'ai voulu faire mes premirs essais en Physique, à l'âge de 19 ans.

Mr. de T. Vous faites, ce me semble, la Sybille, Mr. *de P.*; mais nous ne lâcherons pas prise; et je prends la liberté de vous demander pourquoi la théorie, si on en avoit une, seroit inutile en pratique. N'avons nous pas les moulins-à-vent?

Mr. de L. Vous avez attaqué Mr. *de T.* par son côté sensible. Il ne badine pas quand il s'agit d'application.

Mr. de P. Eh bien! Pour faire aller un moulin-à-vent il suffit du le tourner dans la direction du vent, et son effet dépend sûrement de l'exactitude avec laquelle cela a lieu.

Mr. de T. Assurément.

Mr. de P. Et, si l'on manque cette direction de 10, de 20, de 50 degrés, il est impossible d'appliquer ici une théorie, quelque parfaite qu'elle fut d'ailleurs.

Mr. de T. Mais permettez moi de vous demander pourquoi on ne peut pas placer un moulin-à-vent dans la direction du vent?

Mr. de P. Parce que la direction du vent change à chaque instant, beaucoup plus souvent que le proverbe: *il change comme le vent*, ne peut l'exprimer. J'ai fait avec tout le soin imaginable des expériences très nombreuses concernant cette direction variable du vent, sur des montagnes, dans des vallées, sur de grandes plaines; Je les ai répétées en France, en Allemagne, en Russie, et j'ai constamment trouvé que le vent change à chaque minute près de 50 fois sa direction, que les moindres de ces variations sont de 5 degrés, que plusieurs vont jusqu'à 40 et 50 degrés, quelques fois jusqu'à 70. La girouette très sensible et très légère, dont je me servois, faisoit en outre quantité d'oscillations de moins de 5 degrés, qu'il m'étoit impossible d'observer une à une.

Si donc le vent est sujet à de si grandes variations dans sa direction, vous sentez sûrement que la meilleure théorie ne nous sera d'aucune utilité pour les moulins-à-vent, le fruit d'une théorie quelconque étant d'appliquer la force donnée avec le plus d'avantage posible, et cet avantage dépendant ici de la direction.

Mr. de T. Cela est clair, mais me console pe

Ainsi nos moulins-à-vent doivent être très mal construits.

M. de P. Si je prends la liberté de vous contredire en ceci, je ne ferai surement pas honneur à la théorie, mais je le dois; je dois vous assurer que la construction de nos moulins-à-vent est très ingénieuse, quoique nous ne la devions qu'à la pratique et quoique la théorie ne puisse que nous indiquer après coup quelques principes de cette construction.

Mr. de T. Veuillez donc, Mr. *de P.* nous décrire cette mécanique ingénieuse, ne fut-ce que pour l'honneur de la pratique.

Mr. de P. Volontiers. Vous connoissez en gros la construction des moulins-à-vent: Quatre ailes fixées de bout et de biais sur un axe un peu incliné à l'horizon et placé le mieux qu'on peut dans la direction du vent. Prenons le crayon; soit AB (fig. 44) la coupe d'une aile de moulin, ou de la surface sur laquelle le vent doit agir; CD la position de l'axe du moulin, EC la direction du vent; CF la direction dans laquelle toute l'aile doit se mouvoir en se tournant autour de l'axe. Il s'agit de savoir quel angle ACE la direction du vent doit faire avec la coupe de l'aile pour que le choc du vent soit le plus grand possible. Le calcul nous apprend que, si l'on ne fait pas attention aux courans d'air qui, après le choc sur l'aile, glissent le long de AB, cet angle ACE doit être de 54 degrés et 44 minutes, et la pratique avoit déjà admis un angle à peu près égal et avec raison un peu plus grand,

Supposons un moment qu'aucune résistance ne s'oppose au mouvement de l'aile dans la direction CF;

il est clair que quand le vent aura fait un chemin égal à AF, l'aile aura fait le chemin CF. Si nous donnons à l'aile la position HG, en sorte que l'angle qu'elle fait avec la direction du vent soit FCH, il est clair que l'aile fera le même chemin CF tandis que le vent ne parcourra que l'espace HF. Doù il suit que plus l'angle que fait la direction du vent avec la position de l'aile est grand, plus l'aile peut obtenir de vitesse. Mais le choc se trouve aussi *d'autant* plus petit, et divient nul lorsque la position de l'aile est perpendiculaire à la direction du vent.

Considérez à présent cette aile vue de face dans toute sa longueur, fig. 45. C est le centre de mouvement des quatre ailes, dont je ne vous en ai dessiné qu'une. Il est clair qu'un point quelconque, tel que a, aura d'autant plus de vitesse qu'il sera plus éloigné du centre C. Si donc la partie inférieure AB de l'aile doit faire avec la direction du vent un angle de 60 degrés, comme cela a lieu dans la pratique, cette même inclinaison sera trop grande pour tout point a de l'aile qui se trouve plus éloigné du centre. Il faudra donc donner à cette partie de l'aile un plus grand angle d'inclinaison avec la direction du vent; c. à. d. que les angles d'inclinaisson doivent augmenter de I en F. En effet on les fait augmenter jusqu'à 80 degrés, en sorte que la position de l'aile en F ne diffère de l'angle droit que de 10 degrés. L'aile devient par là une surface courbe,

Mr. de T. Aprésent je conçois la raison de la singulière construction de la carcasse du volant de nos ailes de moulins-à-vent, qui est composée de lattes firées par un bout au côté de la verge GF sous des ang-

les qui approchent toujours davantage de l'angle droit à mesure que les lattes s'éloignent du centre C de mouvement.

Mr. de P. Cette construction a encore un autre avantage, celui qui probablement l'a fait inventer. Considérez notre figure précédente, fig. 44. Vous jugerez aisément que lorsque l'aile se meut dans la direction CF, tandis que le vent a la direction ECD, l'aile est forcée de chasser l'air derrière elle, et que cet air ne cède pas sans opposer une résistance qui croit à raison du carré de la vitesse de l'aile. Si donc l'aile, qui a une grande vitesse à son extrémité, avoit aussi le même angle d'inclinaison à cette extrémité que près du centre de mouvement, cette résistance de l'air seroit énorme et absorberoit la meilleure partie de la force du vent. Mais comme chaque partie de l'aile fait un angle HCF avec la direction de sa course d'autant plus petit qu'elle est plus éloignée du centre, cette résistance de l'air devient pour tous les points de l'aile à peu près égale et la plus petite résistance possible.

Mr. de R. Il faut avouer qu'il y a beaucoup d'esprit dans la contruction du moulin-à-vent.

Mr. de P. Je dois ajouter encore l'observation suivante:

Remarquez qu'à l'aile que j'ai dessinée la verge GF partage le volan entier en deux parties très inégales; ce qui a lieu en pratique. Le côté EF n'a que 8 à 12 pouces de largeur, tandis que FD a 4 à 5 pieds. La partie étroite est de règle recouverte de planches minces, l'autre de toile. Les lattes qui forment la carcasse plient lorsque le vent est fort, ce qui diminue l'angle

d'inclinaison et parconséquent augmente l'angle HCF et par là la résistance de l'air derrière l'aile; ce qui fait qu'un vent fort n'augmente que de peu la vitesse du moulin qui ne doit pas excéder certaines limites, et ne le peut pas sans danger pour toute la machine. Lorsque le vent est foible, les lattes ne plient pas et restent dans la position la plus avantageuse pour obtenir la plus grande vitesse que ce vent foible peut leur donner.

Mr. de T. A présent je conçois parfaitement que, vu l'énorme variabilité de la direction du vent, une théorie plus recherchée ne pourroit augmenter l'effet du moulin - à à - vent que cette constuction pratique produit. Mais je conçois aussi que la grande longueur des ailes est pernicieuse à cet effet.

Mr. de P. J'en ai vu un exemple frappant. De règle chaque aile du plus grand moulin - à - vent n'a pas une longueur de plus de 32 pieds, à compter du centre C. Mais à Manheim on a contruit autrefois un moulin dont chaque aile avoit 60 pieds de longueur et parconséquent l'envergure entière 120 pieds. L'effet a été qu'un petit vent ne faisoit pas bouger cette énorme machine dont l'axe de bois de chêne avoit 5 pieds d'équarrissage, dont la tour superbe haute de 78 pieds, bâtie en pierres de taille, située aux environs du confluent du Rhin et du Mein, est devenue tout simplement un rendez-vous, où la jeunesse de Manheim va goûter les plaisirs de la campagne et cette machine inutile rapporte dix fois plus au fermier que ne rapporterait le meilleur moulin.

Mr. de T. L'impulsion du vent sur nos moulins étant si variable, n'a-t-on pas imaginé des moulins-à-

garde toujours son cours malgré le changement de vent.

Mr. de T. En effet le vaisseau me paroît, malgré sa voile, à la merci de tous les vents, et il doit par la position IK de sa voile se tourner en sorte que la quille prenne presque la direction du vent.

Mr. de R. Quelle puissance interviendra pour prescrire au vaisseau la position qu'il doit prendre, garder ou changer?

Mr. de P. L'océan lui-même, par l'action du *gouvernail.* AL est la coupe d'une planche qui est fixée verticalement à la poupe, au moyen de deux gonds comme une porte, et munie d'un levier qui s'avance vers l'intérieur par dessus le bord. Le pilote saisit ce levier et est à même de donner à la planche ou gouvernail AL la position nécessaire. Le gouvernail d'une chalouppe n'est en effet qu'un morceau de planche et le pilote fait mouvoir d'une main son levier; celui d'un grand vaisseau est composé de soliveaux bien solidement assemblés et le levier est une poutre que le pilote fait mouvoir au moyen de deux moufles fixées à chaque côté du bord, pour avoir avantage de force.

L'action du gouvernail n'a lieu que par le mouvement même du vaisseau. Supposons que CH soit le cours. La voile IK, comme l'a très bien observé monsieur *de T.*, tend à faire tourner la proue B vers G. Si donc le gouvernail a la position AL et si le vaisseau est en marche, il est clair que le gouvernail recevra un choc continuel de l'eau dans une direction parallèle à HC. Ce choc oblique de l'eau se décompose comme le choc oblique du vent et produit une force qui agit

sur le gouvernail dans un sens contraire à celui du vent qui tend à faire tourner le vaisseau. Le vaisseau, ou sa quille, se trouve en quelque sorte dans le cas d'un levier sur lequel agissent deux forces dont chacune tend à le faire tourner en sens opposés sur son centre de gravité C; il y a parconséquent pour une direction donnée du vent et pour une position donnée de la voile, d'un côté, et pour une position du gouvernail de l'autre, une position déterminée du vaisseau qui change dès que l'une de ces données change. Si donc le vent change sa direction, il faut changer la position du gouvernail pour conserver au vaisseau le cours qu'il doit tenir.

Le Comte C. D'après cette description du gouvernail je juge que cette importante machine mérite bien le nom qu'elle a reçu. C'est un souverain qui gouverne le petit monde auquel il est attaché, et même les élémens formidables aux quels il est livré.

Mr. de V. Il ressemble encore un peu aux Souverains des Etats, en ce qu'il n'est pas toujours maître de ces élémens dont la violence déjoue quelques fois sa force et sa prudence.

Mr. de R. Je trouve seulement que ce Souverain est bien petit en comparaison de la grandeur des masses du vaisseau et des voiles qui éprouvent les effets des vagues et des vents.

Mde. de L. Cela me paroît ainsi, et je vous prie, Mr. *de P.* de nous dire pourquoi le gouvernail est si petit, sur tout en comparaison des voiles dont il doit balancer l'effet.

Mr. de P. C'est parce que la force qui agit sur le gouvernail provient d'un fluide, l'eau, qui à surfaces égales, a près de 800 fois plus de masse que l'air qui agit sur les voiles, et qu'en outre son bras de levier, pris du centre de gravité C du vaisseau, est plus long que le bras de levier CO de la voile. Ainsi par ces deux raisons la petite surface du gouvernail pourra faire tête à une grande surface de voiles; et il est de règle de faire le gouvernail le plus petit possible, pour donner à la mer moins de prise sur lui, l'expérience ayant appris que de grands gouvernails sont trop exposés au danger d'être fracassés par les vagues de l'Océan en tourmente.

En outre on a sur les grands vaisseaux plusieurs voiles qui, plus elles s'approchent du centre, moins elles ont de force pour faire virer le vaisseau; tandis que celles qu'on place du côté de la poupe entre A et C agissent en faveur du gouvernail, en sorte qu'à cet égard on oppose voile à voile. Mais les voiles du côté de la proue doivent toujours avoir le dessus, pour laisser de l'ouvrage au gouvernail. C'est pourquoi on pousse une voile, voile d'artimon, en avant de la proue jusqu'à une certaine distance hors du vaisseau.

Le jeune de L. Vous nous avex expliqué, Mr. *de P.*, comment un vaisseau peut faire voile avec un vent de côté. Cela est-il possible encore avec un vent contraire?

Le Comte C. Si le vent est absolument contraire, s'il soufle dans une direction absolument opposée au cours du vaisseau cela n'est guères possible, et je crois qu'il y a une limite au de là de laquelle le vaisseau ne

peut plus voguer dans la direction qu'on veut lui donner.

Mr. de P. Assurément et l'on admet un quart de vent pour cette limite, c. à. d. que, lorsque le vent soufle dans la direction MC, de sorte qu'il fasse avec la direction CH du vaisseau un angle MCH égal à 45 degrés ou à la moitié d'un angle droit, un bon pilote doit encore pouvoir conserver au vaisseau sa direction.

Le jeune de L. Et quand il n'a pas ces 45 degrés?

Mr. de P. Alors il louvoie, c. à. d. il prend une route très différente qui cependant finit par le mener au but.

Mde. de L. J'avoue que je ne comprends pas comment cela est possible.

Mr. de P. Permettez moi, Madame, de vous dessiner une autre figure (fig. 47) un peu compliquée, mais que j'espère pourtant vous rendre intelligible.

Soit CH, comme auparavant, la route que le vaisseau devroit tenir, FCG la direction du vent. L'angle FCH est, comme vous voyez, plus petit que 45 degrés. Le capitaine fait tourner son vaisseau pour lui donner la position AB que je dessine; il donne à sa voile la position IK, dans laquelle elle reçoit le vent très de biais, et au gouvernail la position AL qui retient le vaisseau dans celle que je viens de dessiner. Alors la course du vaisseau sera CM. Lorsque le capitaine a suivi ce cours pendant quelque tems, il tourne son vaisseau pour prendre une toute autre route; supposons que ce soit au point M. Vous voyez que, quoiqu'il se trouve sur une ligne bien différente de celle qu'il devroit suivre, il a cependant gagné du chemin

sur cette ligne; Car si vous tirez du point M une perpendiculaire MN sur CH, le point N indique que le vaisseau s'est avancé de CN sur la direction CH qu'il devroit prendre. Le vent étant toujours le même, le capitaine fait, comme je viens de le dire, tourner le vaisseau, tâchant à présent de suivre la direction MN. Mais cela ne lui réussit pas, le vent étant absolument contraire, et il est obligé de prendre la direction MO qui coupe la direction CH au point S et parconséquent le fait reculer de la longueur NS. Ainsi, quand il se trouve en effet sur la ligne CH, il n'a fait réellement que le chemin CS. Il continue sa course sur la ligne MSO. Arrivé en O, il tourne de nouveau son vaisseau pour prendre un cours OP parallèle à CM et coupe encore sa ligne de cours en Q. Il répète cette manoeuvre aussi souvent qu'il le juge nécessaire jusqu'à ce que le vent devienne plus favorable ou qu'il arrive peudant cette course en zigzag dans une contrée ou règne un autre vent.

Le jeune de L. Voilà bien du mouvement pour si peu de chemin!

Mr. de P. Assurément. Mais il vaut mieux avancer lentement que rebrousser chemin, ce qui arriveroit infailliblement si au lieu de louvoyer, le capitaine, serroit ses voiles et abandonnoit son vaisseau aux vagues qui l'emporteroient dans la direction du vent. Souvent il est obligé de faire cette manoeuvre uniquement pour ne pas reculer ou même pour moins reculer. Comme il gagne toujours, au moins quelque peu, dans les directions CM, OP, son adresse principale consiste à perdre le moins possible dans la direction MO et

ses parallèles, c. à. d. à se tenir le plus près de la perpendiculaire MN sur CH.

Mais c'est lorsqu'il s'agit d'entrer dans un port avec un vent contraire que le marin a à déployer toute son habileté. Souvent il louvoie plusieurs jours en vain en face du port, sans pouvoir en gagner l'entrée, et cette manoeuvre est quelques fois gênée par des isles voisines, ou des bas-fonds qui retrécissent l'espace où il peut manoeuvrer, trop heureux souvent si pendant ces courses en zigzag un coup de vent imprévu ne le fait pas échouer sur quelque point de la côte. Les marins anglois ont de fréquentes occasions d'exercer tout leur savoir à cette manoeuvre difficile, leurs ports étant généralement les plus mal situés de tous les ports européens.

Mr. de L. Il est juste que la Nation libre qui veut dominer sur les mers trouve chez elle-même quelques difficultés à établir son despotisme au dehors.

Mr. de P. Fort bien, si ces difficultés mêmes n'étoient pas la meilleure école où se forme le marin, le meilleur atelier où se forgent les fers qui enchainent le commerce du monde.

Avant d'entamer des discours politico-philantropiques que les Anglois réfuteront en prouvant que les autres Nations seroient tout aussi peu libérales si elles en avoient les moyens, permettez moi de diriger votre attention sur un nouvel objet, sur la *résistance des milieux*, c. à. d. sur la résistance qu'éprouvent les corps solides mus dans des fluides soit liquides soit gazeux.

Mde. de L. Cette matière ne paroît pas devoir être très égayante.

Mr. de P. Assurément; mais en revanche je m'engage non seulement à être très court, mais aussi à finir par un coup de théatre.

Mde. de L. Un coup de théatre! Ce sera nouveau,

Mr. de P. Commençons par la résistance des fluides liquides et nommément de l'eau.

Notre but est d'apprendre à calculer la force que l'eau, dans laquelle un corps solide se meut, oppose à ce mouvement par son inertie, Nous observons d'abord que cette force est dépendante de la grandeur de la surface qui presse le fluide devant elle et de la vîtesse avec laquelle le mouvement se fait, Mais ces deux élémens de la résistance du fluide sont les mêmes que ceux du choc du fluide contre une surface donnée. Ainsi nous pouvons traiter cette résistance comme un choc, et nous posons en principe que la résistance du du milieu est égale au poids d'une colonne du fluide qui a pour base la surface qui déplace l'eau et pour hauteur la hauteur due à la vîtesse du corps mu.

Mr. de G. Voilà donc l'affaire faite,

Mr. de P. Pas tout-à-fait; car nous avons encore quelques circonstances particulières à examiner. Représentons nous sous ce rectangle ABCD (fig. 50) un corps de figure parallelipipédique flottant dans l'eau et mu dans la direction EF. Si la ligne EF représente le niveau naturel de l'eau, je dis que ce niveau se trouve changé sur l'avant et sur l'arrière du corps flottant. L'eau refoulée dans la direction de la marche du corps

n'est pas plus anéantie que celle d'une veine d'eau qui a choqué une surface fixe; elle doit donc chercher à s'échapper de tous côtés, et cela arrive en effet pour les trois côtés de la tête de notre parallélipipède qui se trouvent dans l'eau. Dans le sens de bas en haut la partie de la surface BC hors de l'eau s'y oppose et l'eau monteroit jusqu'à passer par dessus AB si, en s'élevant au dessus du niveau EF, elle ne tendoit pas à retomber en vertu de sa pesanteur. Elle ne s'élévera donc qu'a une certaine hauteur ia qui dépend de la vîtesse de mouvement, et retombera de là sur les côtés, formant dans sa coupe une courbe comme ab, semblable à la courbe eb (fig. 38) que forme l'eau par son choc contre une surface plane. Et comme nous avons trouvé que cette portion d'eau exerce en s'échappant une pression sur la surface choquée, nous devons juger de même qu'ici il y aura une pression semblable contre la partie ia de la surface BC. Ainsi voilà un surcroit de résistance que nous venons de découvrir.

A l'arrière de notre parallélipipède, il en existe un autre que nous allons trouver. Imaginez que ce corps vienne de faire à l'instant son premier pas et que ce premier pas soit d'un pouce de longueur; il est clair qu'il se formera derrière AD un vide d'eau long d'un pouce et de la hauteur eD. Ce vide ne peut pas être permanent de même que tous les autres qui lui succèderont, parce que l'eau qui se trouve en arrière et sur les côtés tend à y couler et y coule en effet. Mais comme cet écoulement n'a pas une vîtesse infinie, il est clair que le vide ne sera jamais tout-à-fait rempli, et comme les parties inférieures de l'eau sont pressées

par les supérieures et ont parconséquent le plus de vitesse, il est clair que l'espace en question se remplira par le bas et restera vide par le haut, et lorsque notre parallélipipède aura fait quelque chemin le niveau de l'eau derrière lui formera une certaine courbe du, laissant à sec la partie ue de notre poupe. Considérez à présent que si le corps ABCD étoit en repos il seroit couvert d'eau de chaque côté, et sur le derrière, jusqu'à la hauteur de la ligne EdeibF, et qu'il y auroit parconséquent pression égale de la part de l'eau sur la proue et la poupe; égalité qui pendant le mouvement n'a plus lieu, la partie ue de la poupe étant dépourvue de pression; et c'est comme si nous avions sur la proue une pression d'eau de la hauteur ue. Ainsi voilà un second surcroit de résistance qui s'oppose au mouvement du corps.

Mr. de R. Avez-vous encore beaucoup de ces surcroits? Je crains qu'à la fin votre théorie ne nous prouve que les vaisseaux ne peuvent plus se mouvoir.

Mr. de T. Sans partager la crainte de Mr. *de R*, je prévois que la résistance totale du fluide se trouvera plus grande que le choc de même vitesse sur la même surface.

Mr. de P. Non, mon cher monsieur *de T.* Ces deux forces, la résistance totale et le choc, sont à-peu-près égales. Car nous avons un gain dans l'évaluation de la résistance, que je n'ai pas encore fait entrer dans le calcul.

Mr. de T. Quel peut être ce gain?

Mr. de P. Celui qui résulte de l'obliquité du choc de la surface B C contre l'eau. L'eau refoulée s'échap-

pe de tous côtés et ce mouvement emmène d'avance les parties de l'eau, qui n'ont point encore touché le corps, en directions obliques, précisément comme nous l'avons observé dans le choc d'une veine d'eau contre une surface fixe; et comme nous avons vû là que le choc se trouve affoibli par ces obliquités des différents filets de la veine, il est clair qu'il doit aussi résulter une diminution de la résistance de l'eau sur notre surface BC. Les expériences de d'Alembert, Condorcet et Clairaut prouvent que les deux augmentations de la résistance que je vous ai fait connoître et la diminution dont il est à présent question, se compensent à-peu-près, et que pour le calcul on peut s'en tenir au théorème que j'ai énoncé d'abord.

Mde. de L. Pourquoi avez-vous donc effrayé monsieur *de R.* et inquiété monsieur *de T.* par vos deux surcroits de résistance?

Mr. de P. D'abord, Madame, pour vous intéresser à notre sujet et puis aussi pour m'expliquer plus clairement.

Mde. de L. Voulez-vous mettre la méchanceté à l'ordre du jour?

Mr. de P. Dieu m'en préserve, Madame! Bien au contraire je vais tâcher de vous réconcilier en ajoutant quelque chose à ce que j'ai dit sur ce vide d'eau qui se forme en poupe. Ce vide, qui se remplit et se renouvelle constamment, tant que le vaisseau marche, est ce qu'on appelle le *sillage*, une longue ligne qu'on distingue sur la route du vaisseau souvent jusqu'à un quart de lieue en arrière. Cette ligne est dessinée sur la mer par le choc des petites ondes qui résultent du

remplissage du vide due que la poupe laisse derrière elle.

Considérons à présent un corps flottant dont la coupe horizontale seroit la figure ABCDEF (fig. 51) que je dessine. Vous sentez d'abord qu'un corps pareil se mouvra plus facilement dans la direction DA qu'un corps dont la proue et la poupe seroient plates. Car à présent le choc des côtés AB et AF est oblique et parconséquent moindre que s'il étoit perpendiculaire à la surface choquante. Si l'on n'avoit égard qu'à cette obliquité, la résistance ne seroit qu'environ $\frac{1}{10}$ dans le cas où l'angle BAF n'auroit que 12 degrés. Mais l'expérience prouve que pour ce cas la résistance se monte réellement à $\frac{4}{10}$. Cela vient de ce que le frottement des côtés BA et FA amène une quantité d'eau vers la proue, ce qui augmente le premier surcroit de résistance dont nous parlions tout à l'heure, puisque cela augmente la masse d'eau qui doit s'écouler des deux côtés pour laisser passer notre corps; et j'espère, par parenthèse, que me voilà justifié aux yeux de Madame *de L.* d'avoir parlé tout-à-l'heure des surcroits de résistance, sans quoi je n'aurois pu expliquer ce phénomène qui semble contredire la théorie.

Mde. de L. Fort bien. Mais dites nous pourquoi vous avez donné également à la poupe de ce corps une pointe comme à la proue, Je n'en vois pas la raison.

Mr. de P. Imaginez, Madame, que notre corps ait fait le chemin dD. Il se sera formé un vide d'eau dans l'espace contenu entre les lignes cde et CDE qui doit se remplir. Or pour que cela ait lieu, l'eau n'a

pas besoin de couler dans la direction dD; au contraire elle prendra le chemin le plus court, celui qu'indiquent les perpendiculaires aD et oD des lignes dc et de aux lignes DC et DE. Le vide se remplira donc plus vite que le vide CceE qui auroit eu lieu si le corps se fut terminé par une seule surface plane CE. Or comme ce vide produit le second surcroit de résistance dont j'ai parlé tout-à-l'heure, il est clair que la poupe pointue le diminue; et voilà, par parenthèse, mon second surcroit de résistance justifié.

Mr. de L. Vous paroissez être amateur des justifications.

Mr. de P. Oui, Général, vis-à-vis des dames. Mais permettez moi d'ajouter à ce que j'ai expliqué sur la résistance des milieux liquides, que notre figure nous fournit à peu de chose près une bonne coupe horizontale de vaisseau. Il ne faut plus qu'arondir les angles B, C, E, F et rendre les angles A et D un peu plus pointus, pour avoir un bon voilier. On en est encore à chercher la meilleure courbe à substituer aux lignes droites DC, CB et BA pour décrire les flancs des vaisseaux. Je crois au reste que cette recherche est infructueuse; car on ne pourra trouver cette courbe que pour le cas où le vaisseau marcheroit sur la direction de sa quille, cas extrèmement rare, qui n'a lieu que lorsqu'on a le vent en poupe. Dans tous les autres cas le vaisseau frappe l'eau de flanc et de proue, et il faudroit avoir à chaque variation de l'angle de dérive une autre courbe pour le flanc du vaisseau.

Mr. de R. A présent nous voilà en état de construire des vaisseaux! Nous connoissons la forme qu'on

doit leur donner pour qu'ils aient uue assiette solide et pour voguer avec facilité; nous connoissons l'action des voiles; nous savons louvoyer . . . . . .

Mr. de P. Votre badinage, Monsieur *de R.*, seroit bien fait pour me faire rentrer en moi-même si j'avois la vanité de croire que je vous aie instruit sur tous ces objets, ou que moi-même je les connusse à fond et de manière à pouvoir construire un grand vaisseau et le diriger. Un grand vaisseau, un vaisseau de guerre du premier rang, est une machine énorme non seulement par sa grandeur, mais aussi par l'immense détail de ses parties dont l'exécution est d'autant plus difficile que l'on doit ménager l'espace autant que possible, donner au tout la plus grande légèreté que comporte une grande solidité, que l'on doit être préparé à tous les changemens qu'offrent la surface des mers et la variété des vents, et que tout ce que l'on fait se fait sur un sol mobile où la pesanteur change à tout instant de direction. Un grand vaisseau est la machine la plus étonnante que l'esprit humain ait inventée.

Permettez moi d'ajouter encore quelques mots sur la résistance de l'air considéré comme milieu.

Mde. de L. J'ai déjà acquis les notions préliminaires de cette résistance dans notre second entretien, et grâces à l'exactitude de votre logique, je ne les ai pas oubliées.

Mr. de P. Et grâces à votre bonté angélique, je sais que vous ne m'en voulez pas de vous avoir prouvé la chose d'une manière ennuyante. Aussi je vais me permettre de vous fournir une autre preuve de cette espèce de résistance, qui se manifeste chaque fois qu'on

jette de l'eau par la fenêtre, cette eau se dispersant en gouttes, résistance qui change les jets d'eau en pluie et donne à ce joujou des grands seigneurs cette élégance que Mr. *de T.*, malgré toute sa sévérité ne peut s'empècher d'admirer. Pour vous fournir une preuve de ma preuve, pour démonter que c'est réellement la résistance de l'air qui divise dans les cas cités l'eau en milliers de gouttes, j'ai l'honneur de vous alléguer l'expérience suivante. On a un gros tube de verre d'environ un pouce de diamètre, fermé par un bout et à l'autre bout duquel on a soufflé une boule d'environ 2 pouces de diamètre. On remplit d'eau la moitié du tube; on la fait bouillir pour en chasser l'air qui s'échappe par un tube capillaire qu'on a laissé à cet effet à la boule. L'air étant expulsé, on scelle le tube capillaire à la lampe pour empêcher le retour l'air et en même tems on retire l'instrument de dessus le feu. L'eau et la vapeur étant refroidies, on a un vide assez parfait dans l'espace qui n'est pas occupé par l'eau, et l'instrument est fait. On le tient à la main par son milieu et on le place verticalement, la boule en haut. En suite on le secoue rapidement en direction verticale. A chaque secousse on voit l'eau retomber en masse sans se partager en gouttes; on l'entend frapper le fond du tube avec un bruit comparable au son d'un coup de marteau, en sorte qu'on croit à chaque fois voir l'instrument brisé. On nomme cet instrument le *marteau d'eau.*

Mde. de L. Avez-vous encore beaucoup d'aussi jolies preuves?

Mr. de P. J'ai déjà eu l'honneur de vous alléguer les expériences sur la chute des corps qui prouvent

par le retardement de la chute la résistance dont nous parlons. Voici une autre expérience qui prouve la même chose:

Voyez Garnerin s'élever dans l'air, debout dans une corbeille suspendue au ballon par une corde qu'il tient d'une main. La multitude applaudit à l'audace peinte sur sa physionomie et dans ses gestes. Mais que vois-je? La corde se rompt, le ballon s'élance vers le ciel avec la rapidité de l'éclair, et le malheureux aréonaute tombe vers la terre aussi rapidement. Il va être fracassé comme Pilatre du Rosier. L'effroi glace les spectateurs. Mais — o miracle! Un dôme de soye, peint des couleurs riantes de l'arc en ciel, se déploye tout-à-coup au dessus de sa tête. Surement une Divinité bienfaisante, protectrice du courage de tous les genres, ne veut pas que le brâve soit la victime de sa témérité. Le dôme déployé embrasse un grand circuit d'air et des milliers d'enfans d'Eole semblent souffler de bas en haut sous ce superbe dais pour retarder la chute de l'Aréonaute. Enfin il atteint la terre avec assez de lenteur pour ne pas être endommagé; il saute de sa corbeille, et le dais, comme charmé d'avoir sauvé la vie à un mortel courageux, s'abandonne au jeu des Zéphirs. Ce dôme superbe, ce dais majesteux, ce prodige d'une Divinité bienfaisante, c'est le *parachûte,* et la Divinité c'est Garnerin lui-même, l'inventeur de cet appareil.

Battez des mains, Madame et Messieurs. Voilà mon coup de théatre.

Le Comte C. J'ai vu cette belle expérience, et quoique parfaitement instruit auparavant de la chose,

je n'en ai pas moins frissonné. Le sang se glace dans les veines lorsqu'on voit cet homme entre le ciel et la terre, ne tenant plus à rien et tombant pendant les premières secondes avec toute la vîtesse de la pesanteur, puis, tandis qne le parachûte se déploie, balancé violemment comme un pendule jusqu'à son arrivée sur terre.

Mr. de P. Je suis charmé, monsieur le Comte, que vous ayez observé ces oscillations qui seroient bien dangereuses si la corde qui fixe la corbeille au parachûte n'avoit que deux on trois pieds au lieu des 40 ou 50 pieds qu'elle a. Cette grande longueur de la corde fait que les vibrations de ce pendule sont très lentes et décrivent de petits arcs de cercle. Si une corde courte permettoit des oscillations de beaucoup de degrés, le dôme du parachûte y participeroit bien davantage et perdroit presque toute sa force.

Mde. de L. Expliquez nous, je vous prie, la construction du parachûte.

Mr. de P. Représentez vous, Madame, un grand parapluie de 25 à 30 pieds de diamètre, au lieu du long bâton une corde encore plus longue, à la place des verges de baleines rien du tout et à la place des flèches de laiton qui servent à ouvrir le parapluie, tout simplement une cinquantaine de ficelles fixées à la circonférence du taffetas et nouées par l'autre bout à la corde qui sert de bâton et porte l'aréonaute. La longueur de ces ficelles est telle que lorsque le taffetas se déploye il prend précisément la forme d'un dôme applati comme le parapluie.

Mde. de L. Mais comment Garnerin ouvre-t-il ce grand parapluie?

Mr. de P. Il abandonne ce soin à la résistance de l'air. Car aussitôt qu'il a détaché son parachûte du ballon, le parachûte et lui-même tombent comme une pierre tomberoit. Alors la résistance de l'air écarte de la corde les pans du parachûte, et au bout de quelques instants toute la surface se trouve déployée. Mais pendant ce déployement la chûte toujours accélerée a déjà acquis une grande vitesse peut-être de 100 pieds par seconde, vitesse qui ne peut être diminuée que petit à petit par la résistance de l'air. Aussi trouvé-je que les Aréonautes ont tort de ne s'élever qu'à environ 600 pieds pour cette belle expérience. Ils devroient préférer une hauteur au moins double; car j'ai observé qu'en tombant de la hauteur de 600 pieds l'apparail n'avoit pas encore la vitesse uniforme qu'il devroit enfin acquérir et qui est le minimum pour chaque diamètre donné du parachute.

Mr. de T. Cette idée me paroît très juste, et à-présent je trouve bien sotte l'idée qu'on a eue de sauver des personnes enfermées par une incendie dans les étages supérieurs d'une maison, au moyen du parachute. A moins d'une hauteur de quelques centaines de pieds ces malheureux se casseroient bras et jambes,

Mr. de R. Le parachute n'auroit ni le tems ni la place nécessaire pour se déployer.

Mr. de P. Et puis combien de personnes trouveroit-on qui dans un cas pareil auroient le courage de faire ce saut périlleux? L'expérience a prouvé qu'il est rare qu'on réussisse à engager ces malheureux frappés

de terreur à descendre sur une échelle qu'on place sous leur fenêtre. — Mais il est tems de finir si je ne veux pas abuser de la patience de mon aimable auditoire. Je me permettrai seulement d'ajouter que la loi de la résistance de l'air diffère très peu de celle de la résistance de l'eau dans le cas où la surface mue est perpendiculaire à la direction du mouvement. Une suite d'expériences dues à Borda, Woltmann et Schober l'a démontré et nous permet de nous servir dans ce cas de la même formule pour l'air et pour l'eau, mais pas dans les cas de l'obliquité.

Vingthuitième entretien.

Mr. *de P.* Si je n'ai pas, Madame, épuisé votre attention par ce que je vous ai dit sur le mouvement et sur la résistance des fluides, j'en réclame le reste pour vous entretenir sur le frottement des fluides, matière qui paroît peu importante, mais qui présente cependant quelques applications intéressantes.

Mde. de L. Il faudroit que je fusse bien ingrate, Monsieur, pour ne pas prêter toute mon attention aux sujets que vous traitez. Ils perdent leur aridité par la manière avec laquelle vous nous les offrez, et il doit vous en coûter plus de peine de les mettre à ma portée qu'à moi de vous suivre.

Mr. de P. Si vous aviez moins de bonté, Madame, je m'enorgueillirois très fort de ce que vous me faites l'honneur de me dire. Je compte donc sur votre indulgence et je m'efforcerai de la mériter en tâchant d'être aussi succint que possible.

Nous considérerons d'abord le frottement des fluides liquides tel qu'il a lieu dans les canaux et dans les tuyaux, et nous commencerons par un théorème bien singulier. Vous savez que le frottement des corps solides est en proportion de la force qui les comprime

l'un sur l'autre. Dans le frottement des liquides sur des corps solides cette pression n'a aucun effet; le frottement n'est pas plus grand lorsque l'eau par ex. est comprimée contre les parois d'un tuyau par une colonne d'eau de 100 pieds de hauteur que par une colonne de 1 pouce de hauteur.

Mr. de R. Cela me paroît incompréhensible. N'y a-t-il donc pas ici pas d'engrenage des particules de l'eau dans les pores qui sont à la surface des corps solides?

Mr. de P. Non; et voilà pourquoi la pression n'entre pour rien dans le calcul du frottement des liquides. Tous les corps solides exercent sur les liquides une adhésion que nous avons appris à connoitre et à mesurer. Cette adhésion est pour l'eau et la plupart des solides, tels que le bois, les pierres, le verre, le vernis de la poterie et les métaux qui ne sont pas parfaitement polis, plus grande que l'adhésion de l'eau à l'eau. Ainsi, dès que ces corps sont mouillés, ils sont comme couverts d'une pellicule d'eau qui ne peut plus quitter leur surface, parce que cette pellicule ne pourroit être enlevée que par l'adhésion de l'eau coulante, adhésion qui est plus foible que celle de la pellicule d'eau à ces matières. Nous devons donc admettre que l'eau qui coule dans un canal ou tuyau quelconque, ne coule pas dans un tuyau de fer, de bois, de poterie &c. mais dans un tuyau d'eau, parce que pour le frottement et l'adhésion nous n'avons à faire qu'aux surfaces.

Mr. de R. Il semble devoir s'en suivre de là que ce frottement devroit être nul.

Mr. de P. Pas du tout. Car quoique l'adhésion

de l'eau à l'eau soit plus foible que celle de l'eau au bois, au verre &c., elle n'est pas pour cela nulle, et c'est elle qui produit tout le frottement des liquides. Et cette espèce de frottement a cela de particulier qu'il n'a pas lieu seulement sur la pellicule d'eau qui tapisse le tuyau, mais qu'il se dissémine dans toute la masse d'eau mise en mouvement.

Mr. de T. Voilà encore un paradoxe. . . . .

Mr. de P. Qui est très vrai et exerce une grande influence sur le mouvement des fluides. Cherchons en l'explication, le crayon à la main. Soit ABDC (fig. 48) la coupe d'un morceau de tuyau dans le quel l'eau coule dans la direction de A en B, et représentons les couches cylindriques infiniment déliées du courant entier par des parallèles à la surface intérieure du tuyau. La première de ces parallèles proche de AB et de CD pourra représenter la couche d'eau, la pellicule qui s'attache inviolablement à la surface du tuyau. La suivante est par contre en mouvement. Mais elle perd de son mouvement par son adhésion à la première couche. La troisième couche, qui tend à se mouvoir avec la vitesse requise, perd également de sa vitesse par son adhésion à la seconde, mais moins que celle-ci, par ce qu'elle ne touche pas une couche absolument immobile. Il en est de même de la troisième, de la quatrième &c., qui toutes perdent de leur mouvement, mais moins que chacune des précédentes. Ainsi le frottement de l'eau dans l'intérieur d'un tuyau occassionne dans chaque filet du courant une retardation qui a son maximum tout près de la surface du tuyau et qui diminue à mesure que les couches ou filets sont éloignés de cette surface,

en sorte que le minimum de cette retardation a lieu au milieu ou à l'axe du tuyau, où l'eau coule avec le maximum de vitesse. Nous ne connoissons pas encore la loi de ces degrés de retardation que les expériences mêmes ne peuvent guères nous donner.

Mr. de T. Ainsi les filets d'eau qui sont proches de la surface du tuyau arrivent plus tard à l'embouchure BD du tuyau que ceux qui sont près du centre.

Mr. de P. Assurément et cet effet a lieu pour tous les courans dans quelque milieu, solide ou fluide, qu'ils se meuvent. Cela a lieu non seulement dans les canaux et rivières rélativement aux trois surfaces, des deux côtés et du fond, mais aussi lorsqu'un courant se meut dans une eau tranquille, et même pour un jet-d'eau dans l'air, mais avec cette différence que l'eau ou l'air, qui étoient auparavant tranquilles, prennent part au mouvement de chaque côté du courant. Ainsi lorsqu'un fleuve entre avec une vitesse donnée dans un lac, l'eau ambiante du lac prend part au mouvement et rallentit d'autant celui du fleuve, qui finit par se perdre entièrement dans la masse du lac, si le lac est assez grand. C'est ce qui arrive par ex. au Rhin et au Rhône dans les lacs de Constance et de Genève. Mais si la masse du courant est considérable à proportion de la masse du lac, en sorte que le fleuve garde une vitesse marquée sur toute la longueur du lac, alors il se forme de chaque côté du courant un tournoiement, un remoux, qui produit souvent un gouffre dangereux aux petits bâteaux. Pour expliquer cet effet ajoutons quelque chose à notre figure (fig. 48).

Les courbes BEF et DHI représentent les bords

Mde. de L. Mais comment Garnerin ouvre-t-il ce grand parapluie?

Mr. de P. Il abandonne ce soin à la résistance de l'air. Car aussitôt qu'il a détaché son parachûte du ballon, le parachûte et lui-même tombent comme une pierre tomberoit. Alors la résistance de l'air écarte de la corde les pans du parachûte, et au bout de quelques instants toute la surface se trouve déployée. Mais pendant ce déployement la chûte toujours accélerée a déjà acquis une grande vitesse peut-être de 100 pieds par seconde, vitesse qui ne peut être diminuée que petit à petit par la résistance de l'air. Aussi trouvé-je que les Aréonautes ont tort de ne s'élever qu'à environ 600 pieds pour cette belle expérience. Ils devroient préférer une hauteur au moins double; car j'ai observé qu'en tombant de la hauteur de 600 pieds l'apparail n'avoit pas encore la vitesse uniforme qu'il devroit enfin acquérir et qui est le minimum pour chaque diamètre donné du parachute.

Mr. de T. Cette idée me paroît très juste, et à-présent je trouve bien sotte l'idée qu'on a eue de sauver des personnes enfermées par une incendie dans les étages supérieurs d'une maison, au moyen du parachute. A moins d'une hauteur de quelques centaines de pieds ces malheureux se casseroient bras et jambes,

Mr. de R. Le parachute n'auroit ni le tems ni la place nécessaire pour se déployer.

Mr. de P. Et puis combien de personnes trouveroit-on qui dans un cas pareil auroient le courage de faire ce saut périlleux? L'expérience a prouvé qu'il est rare qu'on réussisse à engager ces malheureux frappés

de terreur à descendre sur une échelle qu'on place sous leur fenêtre. — Mais il est tems de finir si je ne veux pas abuser de la patience de mon aimable auditoire. Je me permettrai seulement d'ajouter que la loi de la résistance de l'air diffère très peu de celle de la résistance de l'eau dans le cas où la surface mue est perpendiculaire à la direction du mouvement. Une suite d'expériences dues à Borda, Woltmann et Schober l'a démontré et nous permet de nous servir dans ce cas de la même formule pour l'air et pour l'eau, mais pas dans les cas de l'obliquité.

---

de l'eau à l'eau soit plus foible que celle de l'eau au bois, au verre &c., elle n'est pas pour cela nulle, et c'est elle qui produit tout le frottement des liquides. Et cette espèce de frottement a cela de particulier qu'il n'a pas lieu seulement sur la pellicule d'eau qui tapisse le tuyau, mais qu'il se dissémine dans toute la masse d'eau mise en mouvement.

Mr. de T. Voilà encore un paradoxe. . . . .

Mr. de P. Qui est très vrai et exerce une grande influence sur le mouvement des fluides. Cherchons en l'explication, le crayon à la main. Soit ABDC (fig. 48) la coupe d'un morceau de tuyau dans le quel l'eau coule dans la direction de A en B, et représentons les couches cylindriques infiniment déliées du courant entier par des parallèles à la surface intérieure du tuyau. La première de ces parallèles proche de AB et de CD pourra représenter la couche d'eau, la pellicule qui s'attache inviolablement à la surface du tuyau. La suivante est par contre en mouvement. Mais elle perd de son mouvement par son adhésion à la première couche. La troisième couche, qui tend à se mouvoir avec la vitesse requise, perd également de sa vitesse par son adhésion à la seconde, mais moins que celle-ci, par ce qu'elle ne touche pas une couche absolument immobile. Il en est de même de la troisième, de la quatrième &c., qui toutes perdent de leur mouvement, mais moins que chacune des précédentes. Ainsi le frottement de l'eau dans l'intérieur d'un tuyau occassionne dans chaque filet du courant une retardation qui a son maximum tout près de la surface du tuyau et qui diminue à mesure que les couches ou filets sont éloignés de cette surface,

l'un sur l'autre. Dans le frottement des liquides sur des corps solides cette pression n'a aucun effet; le frottement n'est pas plus grand lorsque l'eau par ex. est comprimée contre les parois d'un tuyau par une colonne d'eau de 100 pieds de hauteur que par une colonne de 1 pouce de hauteur.

Mr. de R. Cela me paroît incompréhensible. N'y a-t-il donc pas ici pas d'engrenage des particules de l'eau dans les pores qui sont à la surface des corps solides?

Mr. de P. Non; et voilà pourquoi la pression n'entre pour rien dans le calcul du frottement des liquides. Tous les corps solides exercent sur les liquides une adhésion que nous avons appris à connoître et à mesurer. Cette adhésion est pour l'eau et la plupart des solides, tels que le bois, les pierres, le verre, le vernis de la poterie et les métaux qui ne sont pas parfaitement polis, plus grande que l'adhésion de l'eau à l'eau. Ainsi, dès que ces corps sont mouillés, ils sont comme couverts d'une pellicule d'eau qui ne peut plus quitter leur surface, parce que cette pellicule ne pourroit être enlevée que par l'adhésion de l'eau coulante, adhésion qui est plus foible que celle de la pellicule d'eau à ces matières. Nous devons donc admettre que l'eau qui coule dans un canal ou tuyau quelconque, ne coule pas dans un tuyau de fer, de bois, de poterie &c. mais dans un tuyau d'eau, parce que pour le frottement et l'adhésion nous n'avons à faire qu'aux surfaces.

Mr. de R. Il semble devoir s'en suivre de là que ce frottement devroit être nul.

Mr. de P. Pas du tout. Car quoique l'adhésion

de l'eau à l'eau soit plus foible que celle de l'eau au bois, au verre &c., elle n'est pas pour cela nulle, et c'est elle qui produit tout le frottement des liquides. Et cette espèce de frottement a cela de particulier qu'il n'a pas lieu seulement sur la pellicule d'eau qui tapisse le tuyau, mais qu'il se dissémine dans toute la masse d'eau mise en mouvement.

Mr. de T. Voilà encore un paradoxe . . . . .

Mr. de P. Qui est très vrai et exerce une grande influence sur le mouvement des fluides. Cherchons en l'explication, le crayon à la main. Soit ABDC (fig. 48) la coupe d'un morceau de tuyau dans le quel l'eau coule dans la direction de A en B, et représentons les couches cylindriques infiniment déliées du courant entier par des parallèles à la surface intérieure du tuyau. La première de ces parallèles proche de AB et de CD pourra représenter la couche d'eau, la pellicule qui s'attache inviolablement à la surface du tuyau. La suivante est par contre en mouvement. Mais elle perd de son mouvement par son adhésion à la première couche. La troisième couche, qui tend à se mouvoir avec la vitesse requise, perd également de sa vitesse par son adhésion à la seconde, mais moins que celle-ci, par ce qu'elle ne touche pas une couche absolument immobile. Il en est de même de la troisième, de la quatrième &c., qui toutes perdent de leur mouvement, mais moins que chacune des précédentes. Ainsi le frottement de l'eau dans l'intérieur d'un tuyau occassionne dans chaque filet du courant une retardation qui a son maximum tout près de la surface du tuyau et qui diminue à mesure que les couches ou filets sont éloignés de cette surface,

en sorte que le minimum de cette retardation a lieu au milieu ou à l'axe du tuyau, où l'eau coule avec le maximum de vitesse. Nous ne connoissons pas encore la loi de ces degrés de retardation que les expériences mêmes ne peuvent guères nous donner.

Mr. de T. Ainsi les filets d'eau qui sont proches de la surface du tuyau arrivent plus tard à l'embouchure BD du tuyau que ceux qui sont près du centre.

Mr. de P. Assurément et cet effet a lieu pour tous les courans dans quelque milieu, solide ou fluide, qu'ils se meuvent. Cela a lieu non seulement dans les canaux et rivières rélativement aux trois surfaces, des deux côtés et du fond, mais aussi lorsqu'un courant se meut dans une eau tranquille, et même pour un jet-d'eau dans l'air, mais avec cette différence que l'eau ou l'air, qui étoient auparavant tranquilles, prennent part au mouvement de chaque côté du courant. Ainsi lorsqu'un fleuve entre avec une vitesse donnée dans un lac, l'eau ambiante du lac prend part au mouvement et rallentit d'autant celui du fleuve, qui finit par se perdre entièrement dans la masse du lac, si le lac est assez grand. C'est ce qui arrive par ex. au Rhin et au Rhône dans les lacs de Constance et de Genève. Mais si la masse du courant est considérable à proportion de la masse du lac, en sorte que le fleuve garde une vitesse marquée sur toute la longueur du lac, alors il se forme de chaque côté du courant un tournoiement, un remoux, qui produit souvent un gouffre dangereux aux petits bâteaux. Pour expliquer cet effet ajoutons quelque chose à notre figure (fig. 48).

Les courbes BEF et DHI représentent les bords

d'un grand renflement du lit d'une rivière, ou d'un petit lac au travers duquel une rivière passe. L'adhésion de l'eau du courant aux particules de l'eau contenue dans les renflemens enlève dans les contrées a et b une portion d'eau, qui arrivée en c, c, à l'embouchure FI, n'a pas la place nécessaire pour entrer dans la continuation FGKI du fleuve et s'accumule près de cette embouchure. Cet accumulement de l'eau au dessus de son niveau en c, c, opère un écoulement en sens opposé au courant vers les bords FE et HI du petit lac et de là vers a, où cette eau est ressaisie par le courant et forcée de faire de nouveau le même tour qu'auparavant; ce qui produit les tournoiemens que je vous dessine. La même eau répète plusieurs fois ces courses, comme on peut s'en apercevoir par des expériences en petit, en jettant du son sur l'eau. Petit-à-petit cette eau se mêle au courant et passe l'embouchure FI. Nous aurons quelques applications de ces principes dans la *Physique de la terre.*

Mr. de T, Ce frottement doit rallentir de beaucoup la vitesse d'un courant.

Mr. de P. En effet, et ce rallentissement dans les tuyaux est d'autant plus grand que les tuyaux sont plus étroits, parce que le frottement est en raison de la surface ou des diamètres des tuyaux, mais la force qui doit le surmonter, c. à. d. la masse d'eau en mouvement, qui doit vaincre cette résistance, est en raison du contenu ou en raison du carré des diamètres.

Mr. de T. Il paroit par là que la perte en vitesse doit être en raison inverse du diamètre des tuyaux.

Mr. de P. On a admis d'abord ce théorème; mais

il n'est pas confirmé par les expériences de Bossut qui ont prouvé que la diminution de la perte n'est pas tout-à-fait en proportion de l'augmentation du diamètre des tuyaux; et l'on a été obligé d'imaginer une formule plus compliquée pour le calcul de cette perte de vitesse, calquée sur les expériences de Bossut. En général les phénomènes d'Hydraulique n'offrent nulle part des résultats qu'on puisse soumettre à des proportions exprimées en nombres ronds, l'adhésion des molécules des liquides causant quantité de petites exceptions que nous ne pouvons rapporter à aucune règle fixe.

L'effet de la longueur des canaux sur la retardation du mouvement de l'eau en offre un exemple frappant. Il semble tout naturel qu'un tuyau d'une longueur triple offre une résistance de frottement triple de celle d'un tuyau de longueur simple. Les expériences de Bossut nous ont appris que cela n'a pas lieu et que cette résistance est de beaucoup moindre que triple.

Enfin la Nature se joue encore de nos calculs sur l'effet du frottement des liquides dans le rapport des vitesses que le liquide devroit avoir. Le raisonnement semble nous dire que la vitesse théorique que l'on veut donner à l'écoulement ne doit avoir aucune influence sur le déchet dans la vitesse réelle causé par le frottement, ou que ce déchet doit être en proportion de la vitesse théorique ou du carré de cette vitesse. Mais cela n'a pas lieu. Le déchet, exprimé par une fraction de la vitesse théorique, augmente avec cette vitesse, mais dans une moindre proportion que la vitesse elle-même.

Ces anomalies apparentes proviennent de la loi de

progression que la Nature a fixée pour la retardation des différents filets d'eau de l'axe à la circonférence, loi, qui (comme je l'ai dit tout-à-l'heure) nous est encore inconnue, dont les applications sont modifiées par la longueur, le diamètre et la vitesse du courant.

Le jeune de L. Veuillez, Mr. *de P.*, me dire si le frottement des fluides est d'une grande importance en Hydraulique.

Mr. de P. Il est encore plus important que celui des solides pour la Mécanique. Car si on suppose un tuyau de 90 pieds de longueur, de 2 pouces de diamètre et une pression de 2 pieds d'eau pour procurer l'écoulement, il ne s'écoulera que le tiers de l'eau qui s'écouleroit si au lieu de ce tuyau on en avoit un de même diamètre et de 4 pouces de longueur, et la science ne nous offre aucun moyen de diminuer ces $\frac{2}{3}$ de perte, tandis que la Mécanique nous apprend à diminuer presque à volonté le moment du frottement des solides c. à. d. le déchet de la force causé par ce frottement.

Le jeune de L. Pour cette fois vous me permettrez de maudire le frottement qui, dans un tuyau de 90 pieds seulement, retarde si prodigieusement la marche de l'eau. Que ne fera-t-il pas à des distances bien plus considérables où l'on est souvent obligé d'amener l'eau? L'eau finira par ne plus couler du tout.

Mr. de P. Eh bien, mon cher, réformons la Nature. Essayons d'anéantir ce frottement des liquides sur les parois des tuyaux et des canaux; et voyons ce qui en résultera. Dites moi, par ex. si vous voudriez

descendre ou remonter en bâteau la chûte du Rhin à Schaffhausen?

Le jeune de L. Quelle idée? Aucun homme raisonnable ne peut l'avoir.

Mr. de P. Eh bien, mon cher, ce seroit le cas où nous nous trouverions pour la navigation de tous les fleuves, et, qui plus est, ce seroit un dès cas les plus favorables. Le Rhône, par ex., à sa sortie du lac de Genève, se trouve à une hauteur de 188 Toises ou 1128 pieds au dessus de son embouchure. Si le frottement de son lit ne retardoit pas sa chûte, avec quelle rapidité l'eau ne couleroit-elle pas, puisque nous savons que, lorsqu'un corps tombe le long d'un plan incliné, la vitesse qu'il acquiert est la même que celle qu'il auroit eue s'il fut tombé perpendiculairement de la hauteur verticale du plan! Ainsi, la chûte du Rhin à Schaffhausen étant de 80 pieds, la vitesse du Rhône seroit la même lorsque sur le plan incliné de son lit il eut fait à peu près la quatorzième partie de son cours, et de là sa rapidité augmenteroit jusqu'à la vitesse prodigieuse de 261 pieds par seconde, vitesse plus que double de celle du plus violent ouragan. Bien plus; la vitesse moyenne du Rhône étant au plus de 5 pieds, elle n'est que la cinquante deuxième partie de la vitesse que nous venons de calculer. Ainsi le fleuve n'auroit avec cette grande rapidité que la cinquante deuxième partie de sa profondeur actuelle, c. à. d. une profondeur de quelques pouces. Que deviendroit la navigation des fleuves dans de pareilles circonstances?

Le jeune de L. Je vois qui si j'avois été du conseil de la création j'aurais fait bien des bêtises.

Mde. de L. Mais comment Garnerin ouvre-t-il ce grand parapluie?

Mr. de P. Il abandonne ce soin à la résistance de l'air. Car aussitôt qu'il a détaché son parachûte du ballon, le parachûte et lui-même tombent comme une pierre tomberoit. Alors la résistance de l'air écarte de la corde les pans du parachûte, et au bout de quelques instants toute la surface se trouve déployée. Mais pendant ce déployement la chûte toujours accélerée a déjà acquis une grande vitesse peut-être de 100 pieds par seconde, vitesse qui ne peut être diminuée que petit à petit par la résistance de l'air. Aussi trouvé-je que les Aréonautes ont tort de ne s'élever qu'à environ 600 pieds pour cette belle expérience. Ils devroient préférer une hauteur au moins double; car j'ai observé qu'en tombant de la hauteur de 600 pieds l'apparail n'avoit pas encore la vitesse uniforme qu'il devroit enfin acquérir et qui est le minimum pour chaque diamètre donné du parachute.

Mr. de T. Cette idée me paroît très juste, et à-présent je trouve bien sotte l'idée qu'on a eue de sauver des personnes enfermées par une incendie dans les étages supérieurs d'une maison, au moyen du parachute. A moins d'une hauteur de quelques centaines de pieds ces malheureux se casseroient bras et jambes,

Mr. de R. Le parachute n'auroit ni le tems ni la place nécessaire pour se déployer.

Mr. de P. Et puis combien de personnes trouveroit-on qui dans un cas pareil auroient le courage de faire ce saut périlleux? L'expérience a prouvé qu'il est rare qu'on réussisse à engager ces malheureux frappés

de terreur à descendre sur une échelle qu'on place sous leur fenêtre. — Mais il est tems de finir si je ne veux pas abuser de la patience de mon aimable auditoire. Je me permettrai seulement d'ajouter que la loi de la résistance de l'air diffère très peu de celle de la résistance de l'eau dans le cas où la surface mue est perpendiculaire à la direction du mouvement. Une suite d'expériences dues à Borda, Woltmann et Schober l'a démontré et nous permet de nous servir dans ce cas de la même formule pour l'air et pour l'eau, mais pas dans les cas de l'obliquité.

---

peu, et je ne m'en console que par l'idée que la pompe centrifuge réunit tous les avantages. . . . . .

Mr. de P. Au défaut de n'être pas applicable partout où l'on a peu de place. L'avantage de n'occuper que peu d'espace, avantage dont la théorie se soucie fort peu, mais dont la pratique fait grand cas, est celui des pompes ordinaires à pistons et soupapes, qui à cet égard conserveront toujours dans beaucoup de cas la prééminence sur les autres.

Mr. de R. Il est bien singulier que l'on n'ait pas une espèce de pompe dont le mécanisme soit dans tous les cas préférable à tous les autres.

Mr. de L. Je n'en suis pas fâché. Au contraire, j'aime à voir cette variété de moyens que la Science nous offre pour arriver à nos fins, variété qui force le Mécanicien de choisir ce qui convient le mieux pour la solution de son problème sous des circonstances données. Si nous n'avions en Mécanique que le levier pour toute machine et en Hydraulique qu'une seule espèce de pompe pour élever l'eau, l'intelligence du Mécanicien ne s'exerceroit plus; il ne feroit que copier servilement ce qui est déjà inventé et deviendroit lui-même une machine. La Nature nous offre partout une variété prodigieuse de causes et d'effets, et l'homme ne peut mieux faire que de suivre son exemple.

Mr. de P. A présent disons un petit mot sur le frottement des fluides gazeux, matière encore très peu travaillée.

Nous n'avons encore aucunes expériences précises sur la retardation du mouvement par le frottement des gaz dans les tuyaux. Ce que nous savons bien positive-

l'un sur l'autre. Dans le frottement des liquides sur des corps solides cette pression n'a aucun effet; le frottement n'est pas plus grand lorsque l'eau par ex. est comprimée contre les parois d'un tuyau par une colonne d'eau de 100 pieds de hauteur que par une colonne de 1 pouce de hauteur.

Mr. de R. Cela me paroît incompréhensible. N'y a-t-il donc pas ici pas d'engrenage des particules de l'eau dans les pores qui sont à la surface des corps solides?

Mr. de P. Non; et voilà pourquoi la pression n'entre pour rien dans le calcul du frottement des liquides. Tous les corps solides exercent sur les liquides une adhésion que nous avons appris à connoitre et à mesurer. Cette adhésion est pour l'eau et la plupart des solides, tels que le bois, les pierres, le verre, le vernis de la poterie et les métaux qui ne sont pas parfaitement polis, plus grande que l'adhésion de l'eau à l'eau. Ainsi, dès que ces corps sont mouillés, ils sont comme couverts d'une pellicule d'eau qui ne peut plus quitter leur surface, parce que cette pellicule ne pourroit être enlevée que par l'adhésion de l'eau coulante, adhésion qui est plus foible que celle de la pellicule d'eau à ces matières. Nous devons donc admettre que l'eau qui coule dans un canal ou tuyau quelconque, ne coule pas dans un tuyau de fer, de bois, de poterie &c. mais dans un tuyau d'eau, parce que pour le frottement et l'adhésion nous n'avons à faire qu'aux surfaces.

Mr. de R. Il semble devoir s'en suivre de là que ce frottement devroit être nul.

Mr. de P. Pas du tout. Car quoique l'adhésion

de l'eau à l'eau soit plus foible que celle de l'eau au bois, au verre &c., elle n'est pas pour cela nulle, et c'est elle qui produit tout le frottement des liquides. Et cette espèce de frottement a cela de particulier qu'il n'a pas lieu seulement sur la pellicule d'eau qui tapisse le tuyau, mais qu'il se dissémine dans toute la masse d'eau mise en mouvement.

Mr. de T. Voilà encore un paradoxe. . . . . .

Mr. de P. Qui est très vrai et exerce une grande influence sur le mouvement des fluides. Cherchons en l'explication, le crayon à la main. Soit ABDC (fig. 48) la coupe d'un morçeau de tuyau dans le quel l'eau coule dans la direction de A en B, et représentons les couches cylindriques infiniment déliées du courant entier par des parallèles à la surface intérieure du tuyau. La première de ces parallèles proche de AB et de CD pourra représenter la couche d'eau, la pellicule qui s'attache inviolablement à la surface du tuyau. La suivante est par contre en mouvement. Mais elle perd de son mouvement par son adhésion à la première couche. La troisième couche, qui tend à se mouvoir avec la vitesse requise, perd également de sa vitesse par son adhésion à la seconde, mais moins que celle-ci, par ce qu'elle ne touche pas une couche absolument immobile. Il en est de même de la troisième, de la quatrième &c., qui toutes perdent de leur mouvement, mais moins que chacune des précédentes. Ainsi le frottement de l'eau dans l'intérieur d'un tuyau occassionne dans chaque filet du courant une retardation qui a son maximum tout près de la surface du tuyau et qui diminue à mesure que les couches ou filets sont éloignés de cette surface,

en sorte que le minimum de cette retardation a lieu au milieu ou à l'axe du tuyau, où l'eau coule avec le maximum de vitesse. Nous ne connoissons pas encore la loi de ces degrés de retardation que les expériences mêmes ne peuvent guères nous donner.

Mr. de T. Ainsi les filets d'eau qui sont proches de la surface du tuyau arrivent plus tard à l'embouchure BD du tuyau que ceux qui sont près du centre.

Mr. de P. Assurément et cet effet a lieu pour tous les courans dans quelque milieu, solide ou fluide, qu'ils se meuvent. Cela a lieu non seulement dans les canaux et rivières rélativement aux trois surfaces, des deux côtés et du fond, mais aussi lorsqu'un courant se meut dans une eau tranquille, et même pour un jet-d'eau dans l'air, mais avec cette différence que l'eau ou l'air, qui étoient auparavant tranquilles, prennent part au mouvement de chaque côté du courant. Ainsi lorsqu'un fleuve entre avec une vitesse donnée dans un lac, l'eau ambiante du lac prend part au mouvement et rallentit d'autant celui du fleuve, qui finit par se perdre entièrement dans la masse du lac, si le lac est assez grand. C'est ce qui arrive par ex. au Rhin et au Rhône dans les lacs de Constance et de Genève. Mais si la masse du courant est considérable à proportion de la masse du lac, en sorte que le fleuve garde une vitesse marquée sur toute la longueur du lac, alors il se forme de chaque côté du courant un tournoiement, un remoux, qui produit souvent un gouffre dangereux aux petits bâteaux. Pour expliquer cet effet ajoutons quelque chose à notre figure (fig. 48).

Les courbes BEF et DHI représentent les bords

d'un grand renflement du lit d'une rivière, ou d'un petit lac au travers duquel une rivière passe. L'adhésion de l'eau du courant aux particules de l'eau contenue dans les renflemens enlève dans les contrées a et b une portion d'eau, qui arrivée en c, c, à l'embouchure FI, n'a pas la place nécessaire pour entrer dans la continuation FGKI du fleuve et s'accumule près de cette embouchure. Cet accumulement de l'eau au dessus de son niveau en c, c, opère un écoulement en sens opposé au courant vers les bords FE et HI du petit lac et de là vers a, où cette eau est ressaisie par le courant et forcée de faire de nouveau le même tour qu'auparavant; ce qui produit les tournoiemens que je vous dessine. La même eau répète plusieurs fois ces courses, comme on peut s'en apercevoir par des expériences en petit, en jettant du son sur l'eau. Petit-à-petit cette eau se mêle au courant et passe l'embouchure FI. Nous aurons quelques applications de ces principes dans la *Physique de la terre.*

Mr. de T, Ce frottement doit rallentir de beaucoup la vitesse d'un courant.

Mr. de P. En effet, et ce rallentissement dans les tuyaux est d'autant plus grand que les tuyaux sont plus étroits, parce que le frottement est en raison de la surface ou des diamètres des tuyaux, mais la force qui doit le surmonter, c. à. d. la masse d'eau en mouvement, qui doit vaincre cette résistance, est en raison du contenu ou en raison du carré des diamètres.

Mr. de T. Il paroit par là que la perte en vitesse doit être en raison inverse du diamètre des tuyaux.

Mr. de P. On a admis d'abord ce théorème; mais

il n'est pas confirmé par les expériences de Bossut qui ont prouvé que la diminution de la perte n'est pas tout-à-fait en proportion de l'augmentation du diamètre des tuyaux; et l'on a été obligé d'imaginer une formule plus compliquée pour le calcul de cette perte de vitesse, calquée sur les expériences de Bossut. En général les phénomènes d'Hydraulique n'offrent nulle part des résultats qu'on puisse soumettre à des proportions exprimées en nombres ronds, l'adhésion des molécules des liquides causant quantité de petites exceptions que nous ne pouvons rapporter à aucune règle fixe.

L'effet de la longueur des canaux sur la retardation du mouvement de l'eau en offre un exemple frappant. Il semble tout naturel qu'un tuyau d'une longueur triple offre une résistance de frottement triple de celle d'un tuyau de longueur simple. Les expériences de Bossut nous ont appris que cela n'a pas lieu et que cette résistance est de beaucoup moindre que triple.

Enfin la Nature se joue encore de nos calculs sur l'effet du frottement des liquides dans le rapport des vitesses que le liquide devroit avoir. Le raisonnement semble nous dire que la vitesse théorique que l'on veut donner à l'écoulement ne doit avoir aucune influence sur le déchet dans la vitesse réelle causé par le frottement, ou que ce déchet doit être en proportion de la vitesse théorique ou du carré de cette vitesse. Mais cela n'a pas lieu. Le déchet, exprimé par une fraction de la vitesse théorique, augmente avec cette vitesse, mais dans une moindre proportion que la vitesse elle-même.

Ces anomalies apparentes proviennent de la loi de

On a imaginé beaucoup de moyens pour purifier l'air. Nous aurons par la suite occasion d'en connoître quelques-uns. En ce moment je ne nommerai que le ventilateur que Hales, Physicien anglois, a inventé pour les vaisseaux, consistant en deux grands soufflets dont l'un aspire l'air gâté de l'intérieur et le transpire au dehors, l'autre aspire l'air pur du dehors et le transmet dans l'intérieur. Ces deux soufflets sont mis en activité par un pendule très lourd, qui lui-même est mis en mouvement par le balancement du vaisseau. Les petites roues de feuille de laiton pratiquées dans un carreau de fenêtre, qu'on a décorées du titre de ventilateur, ne sont que des joujoux qui ne purifient pas plus l'air et même moins que ne le feroit tout simplement la vitre cassée et qui ne font qu'indiquer s'il s'établit un courant entre l'air de la chambre et celui du dehors, sans contribuer en rien du tout à établir ce courant.

---

l'un sur l'autre. Dans le frottement des liquides sur des corps solides cette pression n'a aucun effet; le frottement n'est pas plus grand lorsque l'eau par ex. est comprimée contre les parois d'un tuyau par une colonne d'eau de 100 pieds de hauteur que par une colonne de 1 pouce de hauteur.

Mr. de R. Cela me paroît incompréhensible. N'y a-t-il donc pas ici pas d'engrenage des particules de l'eau dans les pores qui sont à la surface des corps solides?

Mr. de P. Non; et voilà pourquoi la pression n'entre pour rien dans le calcul du frottement des liquides. Tous les corps solides exercent sur les liquides une adhésion que nous avons appris à connoitre et à mesurer. Cette adhésion est pour l'eau et la plupart des solides, tels que le bois, les pierres, le verre, le vernis de la poterie et les métaux qui ne sont pas parfaitement polis, plus grande que l'adhésion de l'eau à l'eau. Ainsi, dès que ces corps sont mouillés, ils sont comme couverts d'une pellicule d'eau qui ne peut plus quitter leur surface, parce que cette pellicule ne pourroit être enlevée que par l'adhésion de l'eau coulante, adhésion qui est plus foible que celle de la pellicule d'eau à ces matières. Nous devons donc admettre que l'eau qui coule dans un canal ou tuyau quelconque, ne coule pas dans un tuyau de fer, de bois, de poterie &c. mais dans un tuyau d'eau, parce que pour le frottement et l'adhésion nous n'avons à faire qu'aux surfaces.

Mr. de R. Il semble devoir s'en suivre de là que ce frottement devroit être nul.

Mr. de P. Pas du tout. Car quoique l'adhésion

de l'eau à l'eau soit plus foible que celle de l'eau au bois, au verre &c., elle n'est pas pour cela nulle, et c'est elle qui produit tout le frottement des liquides. Et cette espèce de frottement a cela de particulier qu'il n'a pas lieu seulement sur la pellicule d'eau qui tapisse le tuyau, mais qu'il se dissémine dans toute la masse d'eau mise en mouvement.

Mr. de T. Voilà encore un paradoxe. . . . .

Mr. de P. Qui est très vrai et exèrce une grande influence sur le mouvement des fluides. Cherchons en l'explication, le crayon à la main. Soit ABDC (fig. 48) la coupe d'un morçeau de tuyau dans le quel l'eau coule dans la direction de A en B, et représentons les couches cylindriques infiniment déliées du courant entier par des parallèles à la surface intérieure du tuyau. La première de ces parallèles proche de AB et de CD pourra représenter la couche d'eau, la pellicule qui s'attache inviolablement à la surface du tuyau. La suivante est par contre en mouvement. Mais elle perd de son mouvement par son adhésion à la première couche. La troisième couche, qui tend à se mouvoir avec la vitesse requise, perd également de sa vitesse par son adhésion à la seconde, mais moins que celle-ci, par ce qu'elle ne touche pas une couche absolument immobile. Il en est de même de la troisième, de la quatrième &c., qui toutes perdent de leur mouvement, mais moins que chacune des précédentes. Ainsi le frottement de l'eau dans l'intérieur d'un tuyau occassionne dans chaque filet du courant une retardation qui a son maximum tout près de la surface du tuyau et qui diminue à mesure que les couches ou filets sont éloignés de cette surface,

en sorte que le minimum de cette retardation a lieu au milieu ou à l'axe du tuyau, où l'eau coule avec le maximum de vitesse. Nous ne connoissons pas encore la loi de ces degrés de retardation que les expériences mêmes ne peuvent guères nous donner.

Mr. de T. Ainsi les filets d'eau qui sont proches de la surface du tuyau arrivent plus tard à l'embouchure BD du tuyau que ceux qui sont près du centre.

Mr. de P. Assurément et cet effet a lieu pour tous les courans dans quelque milieu, solide ou fluide, qu'ils se meuvent. Cela a lieu non seulement dans les canaux et rivières rélativement aux trois surfaces, des deux côtés et du fond, mais aussi lorsqu'un courant se meut dans une eau tranquille, et même pour un jet-d'eau dans l'air, mais avec cette différence que l'eau ou l'air, qui étoient auparavant tranquilles, prennent part au mouvement de chaque côté du courant. Ainsi lorsqu'un fleuve entre avec une vitesse donnée dans un lac, l'eau ambiante du lac prend part au mouvement et rallentit d'autant celui du fleuve, qui finit par se perdre entièrement dans la masse du lac, si le lac est assez grand. C'est ce qui arrive par ex. au Rhin et au Rhône dans les lacs de Constance et de Genève. Mais si la masse du courant est considérable à proportion de la masse du lac, en sorte que le fleuve garde une vitesse marquée sur toute la longueur du lac, alors il se forme de chaque côté du courant un tournoiement, un remoux, qui produit souvent un gouffre dangereux aux petits bâteaux. Pour expliquer cet effet ajoutons quelque chose à notre figure (fig. 48).

Les courbes BEF et DHI représentent les bords

d'un grand renflement du lit d'une rivière, ou d'un petit lac au travers duquel une rivière passe. L'adhésion de l'eau du courant aux particules de l'eau contenue dans les renflemens enlève dans les contrées a et b une portion d'eau, qui arrivée en c, c, à l'embouchure FI, n'a pas la place nécessaire pour entrer dans la continuation FGKI du fleuve et s'accumule près de cette embouchure. Cet accumulement de l'eau au dessus de son niveau en c, c, opère un écoulement en sens opposé au courant vers les bords FE et HI du petit lac et de là vers a, où cette eau est ressaisie par le courant et forcée de faire de nouveau le même tour qu'auparavant; ce qui produit les tournoiemens que je vous dessine. La même eau répète plusieurs fois ces courses, comme on peut s'en apercevoir par des expériences en petit, en jettant du son sur l'eau. Petit-à-petit cette eau se mêle au courant et passe l'embouchure FI. Nous aurons quelques applications de ces principes dans la *Physique de la terre.*

Mr. de T, Ce frottement doit rallentir de beaucoup la vitesse d'un courant.

Mr. de P. En effet, et ce rallentissement dans les tuyaux est d'autant plus grand que les tuyaux sont plus étroits, parce que le frottement est en raison de la surface ou des diamètres des tuyaux, mais la force qui doit le surmonter, c. à. d. la masse d'eau en mouvement, qui doit vaincre cette résistance, est en raison du contenu ou en raison du carré des diamètres.

Mr. de T. Il paroit par là que la perte en vitesse doit être en raison inverse du diamètre des tuyaux.

Mr. de P. On a admis d'abord ce théorème; mais

il n'est pas confirmé par les expériences de Bossut qui ont prouvé que la diminution de la perte n'est pas tout-à-fait en proportion de l'augmentation du diamètre des tuyaux; et l'on a été obligé d'imaginer une formule plus compliquée pour le calcul de cette perte de vitesse, calquée sur les expériences de Bossut. En général les phénomènes d'Hydraulique n'offrent nulle part des résultats qu'on puisse soumettre à des proportions exprimées en nombres ronds, l'adhésion des molécules des liquides causant quantité de petites exceptions que nous ne pouvons rapporter à aucune règle fixe.

L'effet de la longueur des canaux sur la retardation du mouvement de l'eau en offre un exemple frappant. Il semble tout naturel qu'un tuyau d'une longueur triple offre une résistance de frottement triple de celle d'un tuyau de longueur simple. Les expériences de Bossut nous ont appris que cela n'a pas lieu et que cette résistance est de beaucoup moindre que triple.

Enfin la Nature se joue encore de nos calculs sur l'effet du frottement des liquides dans le rapport des vitesses que le liquide devroit avoir. Le raisonnement semble nous dire que la vitesse théorique que l'on veut donner à l'écoulement ne doit avoir aucune influence sur le déchet dans la vitesse réelle causé par le frottement, ou que ce déchet doit être en proportion de la vitesse théorique ou du carré de cette vitesse. Mais cela n'a pas lieu. Le déchet, exprimé par une fraction de la vitesse théorique, augmente avec cette vitesse, mais dans une moindre proportion que la vitesse elle-même.

Ces anomalies apparentes proviennent de la loi de

qu'une autre partie reste sur les surfaces vibrantes et y forme des figures à elle, toute différentes de celles du sable. Ces figures se forment de très petits tas presque demi sphériques rangés les uns près des autres mais laissant des espaces très distincts entre eux. Ce qui prouve que, outre la vibration générale des grandes parties de surface que le sable indique, il existe encore une autre vibration plus fine (si j'ose m'exprimer ainsi) qui a ses points vibrants et ses points en repos dans la surface même qui offre les grandes vibrations. Ces fines vibrations sont le plus sensibles et le mieux marquées près des bords du disque et s'effacent petit-à-petit en s'approchant du milieu de la grande figure. Je vous esquisse une figure de ce genre (fig. 58). J'ai retrouvé ces mêmes vibrations sur de grandes cloches de verre qu'on frappe avec un marteau.

Mde. de L. J'avoue qu'on ne peut rien imaginer de plus joli que cette figure que vous venez de dessiner surtout lorsque l'on pense que c'est le son qui l'a produite. C'est la Musique de l'oeil, ou plutôt l'architecture de la Musique.

Mr. de L. Vous faites des tropes, Madame. Eh bien, permettez moi de vous en alléguer un des philosophes de la Nature, de ces favoris de monsieur *de P.* Ils appellent l'Architecture — une Musique gelée. (Toute la société part d'un éclat de rire.)

Mr. de P. Il suit de cette dernière expérience que ces plaques et disques fournissent proprement deux tons; et si nous pouvions employer des pondres encore plus fines, peut-être en trouverions nous un troisième et un quatrième. Mais ces nouveaux sons

doivent être très faibles à raison de la petitesse des surfaces vibrantes, et sont en quelque sorte couverts par le son beaucoup plus fort que les figures de sable expriment.

Considérons à présent la formation des sons dans les cordes tendues. Les vibrations qui ont lieu ici sont souvent visibles à l'oeil comme dans les longues cordes des piano-forte, et on peut les rendre visibles sur chaque corde en posant des de petits brins de papier plié comme à cheval sur la corde, qui sauteront et seront souvent jettés à terre. Mais ce qu'il y a de bien singulier, c'est que cette corde vibrante offre des points en repos parfait qu'on nomme *noeuds*. On rends ces noeuds très visibles en plaçant sous la corde un petit chevalet qui la touche seulement, sans la tendre de bas en haut sensiblement. Si ce chevalet est au milieu de la longueur, et si l'on frotte l'une des deux moitiés à son milieu, l'autre moitié fera égalemcnt ses vibrations, mais en sens contraire, en sorte que lorsque la premiere moitié pousse sa courbure vers le haut, l'autre moitié pousse la sienne vers le bas, tandis que le point que le chevalet touche est sans mouvement. Bien plus; si on place le chevalet au point N de la figure que je dessine (fig. 59) à un tiers de la longueur totale de la corde, et qu'on frotte ce tiers AN à son milieu, alors l'autre tiers NB se partage en deux et fait des vibrations doubles également inverses l'une de l'autre, et ce nouveau point de partage M, qui n'est produit par aucun attouchement, est également dans un repos parfait comme celui qui est produit immédiatement par le chevalet. Si on place le chevalet au quart de la longueur

totale, le reste se partage de lui-même en trois parties et offre deux nouveaux points sans mouvement. Si le chevalet se trouve placé à un cinquième de la longueur, alors l'autre partie de la corde se partagera en 4 parties égales et on aura trois points en repos libre. Ces points qui sont en repos pendant que le reste de la corde fait ses vibrations, sont les noeuds. Les noeuds ont une grande influence sur le son parce qu'ils changent une corde longue en une corde courte.

Le Comte C. Si les deux parties d'une corde ainsi partagée ont leurs vibrations, il se formera deux sons appartenants chacun à sa partie.

Mr. de P. Si le chevalet retranche une partie aliquote c. à. d. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ &c. de la longueur totale de la corde, nous aurons deux sons à l'unisson par ce que les noeuds, qui se forment à la partie la plus longue NB, la partagent en parties égales à celle que le chevalet a retranchée; ce qui formera à la vérité plusieurs sons, mais qui sont tous de même espèce. Mais lorsque la partie retranchée par le chevalet n'est pas une partie aliquote, alors on a plusieurs sons qui ne s'accordent pas et se brouillent mutuellement.

Mde. de L. Ces noeuds, ces points immobiles, dans les cordes qui font leurs vibrations me paroissent bien mystérieux.

Mr. de P. Vous pourrez, Madame, vous faire une idée du mécanisme de ces phénomènes si vous vous représentez la corde tendue AB comme un corps en même tems roide et pliant. Supposez que le coup d'archet se donne de haut en bas, en sorte que la partie AN de la corde prenne la figure A a N, il est clair que la

partie aNb de la corde agit comme une bascule, l'élasticité trouvant sur le chevalet un point d'apui et forçant parlà la partie Nb de s'élever en sens contraire et sous le même angle au dessus de la droite AB que la partie aN au dessous. Cet angle étant fixé et la corde ayant sur toute sa longueur une même tension et une même flexibilité, il doit se former de l'autre côté du chevalet une courbe NbM égale à la courbe AaN, qui se terminera au point M également distant de N que le point A. Or comme il n'y a point de cause de mouvement pour le point M, ce point doit nécessairement devenir un noeud, parconséquent faire l'office de chevalet et établir une seconde bascule dMc qui produira la troisième courbe McB. Ces premières vibrations étant faites sur les trois parties de la corde, l'élasticité et l'inertie des masses produiront les suivantes.

Le Comte C. Et je conçois à présent que, si la longueur AN n'est pas précisement une partie aliquote de la longueur NB, le noeud M n'aura pas de place fixe, et qu'il s'etablira dans la partie NB des vibrations irrégulières qui influeront sur celles de la partie AN.

Mr. de P. Les lignes couvertes de sable que nous avons observées dans les jolies figures de Chladni sont des suites de noeuds, et on les appelle pour cela *lignes nodales.* Elles sont pour les surfaces vibrantes ce que les points N et M sont pour les cordes.

Mr. de T. J'avoue que je ne conçois pas clairement cette immobilité absolue du point M, rien ne l'empêchant de se mouvoir. . . . . .

Mr. de P. Mais rien ne lui donnant du mouvement. Nous avons un effèt analogue dans la belle ex-

périence de plusieurs balles élastiques d'égale grosseur rangées en file et frappées par une autre balle. La dernière seule s'échappe et toutes les autres restent en place. Les centres de ces balles intermédiaires sont dans un repos absolu, invincible, quoique les balles entières soient très mobiles et que le reste de la masse soit en vibration. Les centres de ces balles sont les noeuds de vibration dans cette expérience.

Chladni, inépuisable en découvertes sur la nature du son, nous a appris que les cordes tendues ont encore une autre espèce de vibrations. Celles dont nous avons parlé jusqu'ici sont des *vibrations transversales*, perpendiculaires à la ligne de tension; mais les nouvelles vibrations s'opèrent dans le sens de la longueur et se nomment *vibrations longitudinales*. On les produit en frottant la corde dans le sens de sa longueur, ce qui fait qu'elle se dilate du côté où commence le frottement et se condense du côté où il finit; le frottement achevé, l'élasticité de la corde qui tend à rétablir l'équilibre de tension, produit un retour des parties sur la longueur qui dépasse, en vertu de l'inertie, le point d'équilibre et produit une dilatation et condensation opposée à la première; effet qui se reproduit alternativement en sens contraire par la même cause, mais toujours en diminuant, comme cela arrive dans toutes les espèces vibrations. Les vibrations longitudinales fournissent des sons beaucoup plus aigus que les tranversales et elles sont sujettes à la même loi des noeuds.

Les vibrations transversales ne peuvent avoir lieu sans vibrations longitudinales. Car lorsqu'une corde

tendue AN doit passer de la droite à la courbe, il faut qu'elle s'étende, et qu'elle se raccourcisse quand elle passe de la courbe à la droite. Elle subit ainsi une alternative de dilatation et de condensation; et ces dilatations et condensations sont plus grandes vers le milieu que vers l'extrémité, comme dans les vibrations proprement longitudinales. Ainsi à chaque frottement de la corde de violon, à chaque choc du marteau contre la corde de clavecin, nous avons proprement deux tons, dont l'un (le longitudinal) est, à la vérité, à peine sensible, mais rend le ton principal (le transversal) moins pur.

Mde. de L. Les vibrations qui produisent le son, sont-elles les mêmes que celles du pendule? Ou bien le mot vibration est-il encore un de ces mots à double sens qui signifient deux choses absolument différentes?

Mr. de P. Les vibrations des cordes tendues et celles du pendule, quoique différentes les unes des autres, ont cependant beaucoup d'analogie et une origine semblable. Imaginez, Madame, une lame ou un cylindre d'acier droit, mince et d'égale épaisseur, serré par un de ses bouts entre les mâchoires d'un étau. Courbez le d'un côté quelconque et abandonnez le ensuite à lui-même. Il fera des oscillations très comparables à celles du pendule qui seroit composé d'un barre cylindrique; l'élasticité tiendra lieu de la pesanteur; la masse dans l'une et l'autre de ces vibrations résiste au mouvement qui, lorsqu'il a atteint son maximum, c. à. d. lorsque le corps aura repris ou sa figure naturelle dans les vibrations du son ou sa position naturelle dans celles du pendule, se continue dans les deux cas

en vertu de l'inertie, et se répète en suite en sens contraire par les mêmes principes. Vous pouvez, Madame vous représenter la corde tendue comme un composé de deux cylindres minces et d'égale épaisseur, fixés chacun par un bout à son étau et joints ensemble en ligne droite par l'autre bout.

Le calcul appliqué à ces considérations nous a appris que la vitesse des vibrations est en raison directe des racines carrées des élasticités ou des forces qui tendent la corde et en raison inverse des longueurs et des épaisseurs des cordes.

Mde. de L. Voilà bien des raisons.

Mr. de P. Mais elles sont bien simples. La première veut dire que pour faire faire à une corde d'une longueur et épaisseur données deux fois ou trois fois plus de vibrations dans une minute, il faut la tendre avec 4 fois ou 9 fois plus de force; et que, à tensions et à grosseurs égales, une corde de moitié moins longue fera deux fois plus de vibrations dans une minute que l'autre; enfin qu'à tensions et longueurs égales une corde une fois plus mince qu'une autre fera aussi le double des vibrations de l'autre.

C'est le rapport des nombres de vibrations qui produit les sons *graves* ou *aigus*, et qui constitue la différence des *tons*. La force du son n'y fait rien, car le plus petit violon d'enfant rend les mêmes tons que la plus grande basse. La variété des tons consiste dans la fréquence plus ou moins grande des vibrations, et l'on peut même assurer que toutes les vibrations, une à une, ne produisent que le même ton, si tant est qu'on puisse parler de ton ou de son en ne supposant qu'une

vibration. La variété des tons est telle que l'on compte du ton le plus grave au ton le plus aigu depuis trente jusqu'à plus de sept mille vibrations dans une seconde.

Mr. de T. Je ne conçois pas encore en quoi consiste la différence entre le son et le ton.

Mr. de P. Le son est l'idée générale, et appartient à tout ce qui affecte notre oreille. Le ton est un son particulier déterminé par une fréquence précise et constante de vibrations. Pour rendre un ton, l'instrument ne doit faire qu'un certain nombre de vibrations dans un tems donné. Si pendant qu'il rend le son ce nombre change, ou bien s'il est composé de parties hétérogènes dont chaque espèce a une fréquence de vibrations à elle, alors on n'a plus un ton, mais un bruit, un son qui ne plait plus à l'oreille. C'est ce qui arrive lorsqu'on frappe une poutre d'un coup de marteau, le bois étant composé principalement d'une substance fibreuse et dure et d'une substance plus molle dont chacune, mise en vibration, a sa période à part et dont le mélange détruit la pureté de ton que l'une ou l'autre seule auroit. Les tons les plus purs sont ceux que produisent les substances les plus homogènes.

Je vous ai parlé, Madame, assez longuement des sons produits par les corps solides. Vous me le pardonnerez lorsque j'aurai l'honneur de vous dire que j'aurois pu ou dû être encore plus long et m'étendre sur les principes de la Musique.

Mde. de L. Cela seroit sûrement intéressant.

Mr. de P. Je pourrois, Madame, m'excuser sur les difficultés que vous éprouveriez à me suivre; mais je préfère vous dire sincèrement que la raison principale pour laquelle je n'entre pas dans cette matière, raison qui sûrement vous satisfera, c'est que moi-même je n'y entends rien. Je ne sais ce que c'est que la gamme ou une tierce ou une quinte. Les *ut, re, mi, fa, sol* sont pour moi de l'hébreu.

Mr. de L. Voilà qui est plaisant! Vous ne voulez pas nous enseigner ce que vous ne savez pas! N'avez-vous donc jamais lu de livre dont l'auteur n'entendoit pas un mot de sa matière? Et ne connoissez-vous pas l'art noble et utile de copier, que les sots nomment tout bonnement plagiat, mais qui cependant met les neuf dixièmes des presses en mouvement?

Mr. de P. Comme je suis auteur, peut-être l'apprendrai-je un jour. Pour cette fois-ci permettez moi de ne vous parler que du peu que je sais et pour cet effet d'en venir aux sons produits par les vibrations des fluides.

L'air atmosphérique est souvent employé à produire des sons, ce qui a lieu dans tous les instrumens-à-vent, et la Nature en produit de bien violents sans instrument, dans l'espace illimité de l'atmosphère, les coups de tonnerre.

Mr. de G. La Nature nous écrase toujours quand nous comparons nos ouvrages aux siens.

Mr. de P. Nous nous rapprochons d'elle en ce

cas par le bruit de nos batteries de canon et si nous voulons pousser la comparaison plus loin, nous remarquerons qu'un canon ou une batterie n'est pas une aussi grande machine qu'un nuage. Du reste nous produisons le son au moyen de l'air en le circonscrivant dans d'étroits espaces où ses vibrations primitives ne se perdent pas dans l'espace illimité de l'atmosphère et deviennent par cette raison assez fortes pour affecter, même très violemment, notre organe.

Dans tous les instrumens-à-vent c'est l'air qui produit les sons et non l'instrument. Nous nous en assurons par l'expérience journalière qu'un instrument-à-vent peut être touché à chacun de ses points sans que le ton change; ce qui surement n'auroit pas lieu si par ex. c'étoit le bois de la flûte qui produisit le ton, comme la corde de violon que chaque attouchement force de produire un autre ton.

Mr. de T. J'ai peine à croire que la matière de l'instrument n'influe pas sur le son.

Mr. de P. Elle influe assurément sur le son, mais pas sur le ton. Il est connu que le son d'une flûte de bois est différent de celui d'une flûte d'argent ou de verre, mais ces trois instrumens faits sur les mêmes dimensions rendront parfaitement les mêmes tons. Ces différences physiques des sons dans les instrumens à vent de même espèce, qu'on appelle le *timbre* sont certainement dépendantes de la matière de l'instrument. On croit communément que cette matière a de foibles vibrations à elle, produites par celles de l'air; mais j'avoue que j'en doute si l'on suppose que tout

l'instrument fasse ces vibrations, par ce qu'elles se modifieroient sûrement par les attouchemens.

Le Comte C. Mais quelle peut être la raison de cette différence de timbre?

Mr. de P. Pour vous rendre l'idée que j'en ai, je dois vous expliquer la manière avec laquelle se forme le son dans nos instrumens-à-vent.

Soufflez dans un tuyau long ou court, large ou étroit, fortement ou foiblement; vous n'en tirerez pas de son. Mais donnez à son embouchure la forme de celle du sifflet, alors l'air, chassé avec force au travers du canal étroit et heurtant contre le biseau de l'ouverture latérale, s'y condense et se dilate alternativement et communique ces vibrations en partie à l'air extérieur en partie à l'air intérieur. Les vibrations de l'air exterieur n'ont point d'effet, mais seulement les intérieures qui sont le son proprement dit de l'instrument. La construction du tuyau d'orgue se rapporte à celle du sifflet; celle de la flûte traversière de même. Celle du haut-bois et autres instrumens à *anche* est différente; l'air chassé le long de l'embouchure entre dans un canal étroit demi circulaire a b (fig. 69) en forme de cuvette très alongée, recouvert d'une lame élastique c d extrêmement mince (languette) qui, soulevée par le courant d'air, ne le laisse passer qu'avec violence et dans un état de forte condensation. Cet air se dilate sur le champ au sortir de sa prison et rencontre l'air du tuyau qui se trouve par là mis en vibration, La petite lame élastique est de même en état de vibration, soit qu'elle reçoive ce mouvement des vibrations de l'air à sa sortie,

soit qu'elle vibre en vertu de sa propre élasticité. Il est même vraisemblable que ces deux causes agissent simultanément et voilà un second instrument dans le grand qui donne ses propres sons, sons faibles à la vérité, mais qui doivent influer sur les sons de celui-ci, et l'on sait qu'il n'est pas indifférent de quelle matière on compose la petite lame mince qui produit ces sons particuliers. Les instrumens qui ont une embouchure de ce genre ont une languette tantôt de métal, tantôt de bois, appropriée au genre de sons que l'instrument doit exécuter.

N'est-il donc pas probable que le biseau du siflet, de même que le bord tranchant du trou de la flûte traversière, ont aussi leurs vibrations qui modifient le son principal de l'instrument et de diverses manières selon que la matière est de bois, de métal ou de verre, vibrations qui ne s'étendent qu'à une très petite distance, la masse totale de l'instrument étant trop grande pour y participer? Voici une expérience frappante qui vient à l'apui de ce que je viens de dire; je la trouve dans un instrument enfantin. Prenez un bout de jonc sec A B, (fig. 70.) long d'environ 6 pouces et soufflez dans ce tuyau en prenant l'un ou l'autre bout dans la bouche comme un siflet. Vous n'en tirerez aucun son. A présent enlevez vers le milieu de la longueur une portion CD de la substance dure du jonc, ayant soin de ne laisser que la fine peau qui tapisse l'intérieur du jonc, sans la déchirer ou la percer. Si à présent vous soufflez dans ce tuyau comme auparavant, il rendra un son du genre de celui de la trompette, et vous verrez la pellicule CD vibrer fortement.

Le Comte C. Ce que vous nous avez dit sur la construction de l'embouchure du sifflet et du haut-bois explique aussi pourquoi les sons des instrumens de cette dernière espèce sont plus forts que ceux des flûtes et sifflets. Les instrumens à anche ne perdent rien des vibrations exécutées, tandis que les autres en perdent la majeure partie.

Mr. de P. Ajoûtez à cela que dans le haut-bois on peut souffler de toute sa force, tandis que l'on ne peut souffler que médiocrement sur le trou de la flûte traversière. Enfin la grandeur de l'instrument a encore beaucoup d'influence sur la force du son.

Les vibrations de l'air dans les tuyaux, droits ou courbés, longs ou courts, des instrumens-à-vent peuvent se comparer aux vibrations longitudinales des cordes. Elles consistent en une alternative de condensations et de dilatations qui souffrent des modifications très variées selon la longueur, la largeur et la figure des tuyaux. Il est bien difficile de suivre toutes ces modifications et de débrouiller les rélations entre la cause et l'effet. Ce qu'il y a de sur, c'est que ces vibrations sont, de même que dans les cordes, interrompues par des noeuds qui partagent la longueur de l'instrument, c. à. d. de la colonne d'air vibrante, en plusieurs parties égales. Un exemple simple rendra la chose sensible.

L'expérience a appris que la hauteur des tons est en raison inverse de la longueur des tuyaux, c. à. d. qu'un tuyau de moitié de longueur fournit une fréquence double de vibrations. Mais il n'est pas indifférent que le bout du tuyau soit ouvert ou fermé. Deux

tuyaux de mêmes dimensions, mais dont l'un a son bout fermé et l'autre ouvert, donnent des tons différents, le dernier un ton exactement égal au ton d'un tuyau de demie longueur mais fermé à son bout. D'où il suit que la tranche d'air, qui se trouve à la moitié de la longueur, partage la colonne entière d'air en deux parties égales et sert parconséquent de noeud. Ce qui se prouve encore d'une autre manière; car si on fait un trou latéral précisément au milieu du tuyau, le ton n'est point changé du tout, tandis qu'il se change considérablement si l'on fait un trou partout ailleurs. Les trous percés aux flûtes, aux siflets, aux haut-bois, font réellement l'effet de noeuds; ils arrêtent les vibrations de la lame d'air qui leur répond, sans empêcher les tranches de la colonne suivante de faire les leurs.

Mr. de R. Vous aviez bien raison de nous dire que les sons nous offrent une nouvelle espèce de mouvement. C'est en quelque sorte un monde nouveau, une sphère magique, qui recèle des millions de mouvemens inconnus, dont la Mécanique ordinaire ne nous fournissoit pas même l'idée. Quelle prodigieuse variétés dans les vibrations qui forment les tons graves et aigus, chacun avec un timbre particulier selon la nature de l'instrument!

Mr. de P. Cette variété des tons et du timbre se répète pour chaque espèce de gaz au moyen duquel on forme des sons. Chladni a fait des expériences avec des sifflets d'orgue dans les quels il faisoit vibrer différents gaz, et a trouvé que le gaz hydrogène ou inflam-

mable fournit des tons beaucoup plus aigus que le gaz atmosphérique, l'azote et l'acide carbonique plus graves, l'oxygène et le nitreux encore plus graves. En composant le gaz atmosphérique dans les proportions naturelles de gaz oxygène et azotique il a obtenu parfaitement les mêmes tons qu'avec l'air atmosphérique naturel. Ces différences dans la hauteur des tons ne se rapporte pas, comme on pourroit le croire, à la pesanteur spécifique de ces gaz, et nous ignorons absolument à quoi elle tient.

Trentième entretien.

Mr. *de P.* Nous avons épié la Nature dans les phénomènes qui produisent les sons. Nous avons vu qu'elle emploie à cet effet tous les corps solides élastiques et tous les gaz et qu'elle a assigné à chacun d'eux des sons particuliers qui, malgré leurs différences caractéritiques, se rangent cependant tous sous des lois générales pour produire des sons analogues et assujettis à des proportions déterminées. Mais ces sons n'existeroient pas pour nous, ils ne s'étendroient pas au de là de la sphère qui les a vus naître, si la Nature n'avoit logé partout un gaz capable de nous les transmettre, de les propager en tous sens, de les rendre sensibles à des distances souvent très considérables. C'est à l'air atmosphérique à qui nous devons cette propagation des sons; c'est cet océan éminemment élastique qui porte la voix depuis les lèvres de l'orateur jusqu'aux oreilles de mille auditeurs, qui excite en eux ces sensations innombrables qui, en s'adressent à l'intelligence ou en excitant les passions, donnent la vie et le mouvement à la société humaine. Entrons dans un conservatoire de Musique au moment où l'on exécute la Création de Haydn. A l'instant où le directeur donne son signal

cinq cents instrumens se font entendre à la fois et variant leurs sons cadancés dans un désordre merveilleusement ordonné, peignent à l'oreille le cahos qui précéda l'acte de la création et ce mouvement immense de l'Univers où tout commença à s'arranger pour établir l'ordre de choses que nous admirons depuis tant de siècles. — Faites vous, s'il est possible, une idée de toutes ces vibrations de l'air dont la salle retentit, de la prodigieuse variété dans ces vibrations dont chacune est analogue à celle de chacun des cinq cents instrumens qui se font entendre, et cherchons à résoudre la question: Comment l'air peut-il propager tous ces sons?

Mr. de G. Le problème ne sera pas facile à résoudre.

Mr. de P. Il n'a jamais été résolu en entier. Décomposons le pour voir le peu que nous savons sur cet objet.

Commençons d'abord par bien nous assurer que c'est à l'air atmosphérique que nous devons ces effets. Plaçons un carillon sous la cloche de la pompe pneumatique, appuié sur des supports très peu élastiques et faisons le vide. A mesure que nous raréfions l'air le son diminue de fòrce, et quand le vide est aussi parfait que la pompe le permet, on n'entend presque plus le son. Si au contraire on condense l'air au lieu de le dilater, le son gagne en intensité. On retrouve un effet analogue sur les hautes montagnes; Saussure a tiré sur le sommet du Montblanc un coup de pistolet, et l'effet affoibli a répondu au degré de raréfaction de l'air.

Le jeune de L. Ainsi les sons, sont en quelque sorte en raison de la densité de l'air.

Mr. de P. Cela paroit ainsi, mais cela n'est pas. Ce n'est pas proprement la densité de l'air qui fixe la force des sons, mais son degré d'élasticité. Nous nous en assurons en plaçant le carillon sous une cloche de verre bien fermée par ses bords après y avoir introduit un fer rouge dont la chaleur augmente l'élasticité de l'air enfermé et qui ne peut pas se dilater parce qu'il ne peut pas s'échapper. Le son est sensiblement plus fort que dans l'air dont l'élasticité n'a pas été augmentée par la chaleur.

Mr. de R. La preuve est sans réplique. Mais comment l'air transmet-il les sons?

Mr. de P. De la même manière qu'ils se forment, par des vibrations, et nous pouvons nous former une idée assez juste de ce mécanisme. Représentez vous une corde de violon qui fait ses vibrations. La couche d'air qui la touche immédiatement en reçoit des chocs d'autant plus violents que les vibrations se font avec plus de vitesse. Cette masse d'air, quelque petite qu'elle soit, résiste de toute son inertie au mouvement progressif que la corde tend à lui imprimer, d'autant plus qu'elle s'appuie sur les couches prochaines. Cette résistance produit une condensation à laquelle succède une dilatation dès que la corde se porte de l'autre côté. Cette dilatation s'exerce dans les deux sens opposés et produit une percussion de la couche d'air voisine qui résiste à son tour en vertu de son inertie, se condense et se dilate comme la première.

Cet effet se répète sur la troisième couche, puis sur la quatrième et les suivantes.

Mr. de G. Je conçois cela, et que parconséquent le son n'est pas un mouvement progressif de l'air.

Mr. de P. Fort juste. Aussi n'aperçoit-on pas le moindre vent dans une salle de Musique. Ce mouvement de vibration se communique donc dans l'atmosphère de couche en couche à une distance indéterminée; et comme l'air est parfaitement élastique, ces vibrations se propageroient sans déchet de force à toutes les distances si, à partir du corps qui produit les vibrations, la masse d'air qui doit vibrer n'augmentoit pas très considérablement.

Le Comte C. A-t-on découvert une loi de la diminution du son par les distances?

Mr. de P. On en suppose une, la loi de l'inverse du carré des distances; c. à. d. qu'à une distance double ou triple de son origine le son n'a que le quart ou le neuvième de sa force primitive. Mais je doute de la vérité de cette loi, qui n'a pas été prouvée par des expériences directes et qui me semble pêcher en théorie.

Au reste une chose bien remarquable, c'est que les sons, quelque affoiblissement qu'ils éprouvent par les distances, restent toujours les mêmes quant à l'espèce. A dix pieds ou à cent pieds de distance du corps sonore le ton est parfaitement le même, seulement plus fort ou plus foible. Cette observation prouve que la nature des tons ne consiste pas dans la vitesse absolue avec laquelle chaque vibration a lieu, mais dans la fréquence des vibrations.

Mr. de T. J'avoue que je ne comprends pas le pourquoi.

Mr. de P. Supposons, pour simplifier la chose, que le son provienne d'une cloche et que les couches d'air mises en vibration soient toutes d'égale épaisseur; il est clair que les couches d'air à mettre en vibration seront des enveloppes sphériques dont les masses sont en raison de leurs surfaces, et parconséquent en raison des carrés des rayons ou de leur distance au centre de la cloche. Ces rayons des enveloppes sphériques d'air, en tant qu'ils indiquent les directions sur lesquelles le son se propage, s'appellent *rayons sonores*. Les vibrations de chacune de ces enveloppes sphériques doivent donc se communiquer à une plus grande masse. Or comme une quantité quelconque de mouvement ne peut pas être plus grande dans l'effet que dans la cause, il s'en suit que, les masses augmentant, les vitesses doivent diminuer. Ainsi, si la hauteur du ton dépendoit de la vitesse absolue de la vibration, le ton changeroit avec la distance. Or comme cela n'arrive pas, nous devons admettre que les tons aigus ou graves dépendent, non de la vitesse absolue de chaque vibration mais du nombre de vibrations exécutées dans un tems donné. Ainsi une seule vibration ne forme pas le ton, mais il faut une suite de vibrations dont les coups répétés sur notre organe produisent la sensation que nous nommons un ton. Et cela suppose que ces vibrations se répètent si subitement que nous ne pouvons pas distinguer l'impression de chacune d'elles; ce qui explique pourquoi nous n'avons pas de tons graves qui aient moins d'un certain nombre de vibrations.

Tout ce qu'on a imaginé pour résoudre ces deux problèmes répugne à la saine Physique et nous faisons mieux de prendre le sage parti d'avouer bonnement notre ignorance.

Mde. de L. Ramenez nous, monsieur *de P.*, bien vite à ce que nous savons.

Mr. de P. Volontiers, Madame; mais ce ne sera pas pour longtems. La vitesse, avec laquelle le son se propage, est un de ces objets que nous connoissons mieux. Des expériences faites avec beaucoup de soin surtout par La Caille, nous ont appris que le son parcourt 1038 pieds de france en une seconde.

Mr. de R. Cette vitesse me paroîtroit prodigieuse si vous ne nous aviez pas déjà étonné bien davantage par la vitesse des molécules chimiques. Mais comment a-t-on mesuré cette vitesse?

Mr. de P. Deux observateurs, munis de bonnes montres à secondes, se sont placés à une grande distance l'un de l'autre, par ex. de quelques mille toises. On a tiré un coup de canon à une des deux extrémités tandis que l'autre observateur observoit la lumière du canon et le tems qui s'écouloit jusqu'à l'arrivée du son; l'espace divisé par le nombre des secondes a donné la vitesse énoncée. On a repété cette expérience sur des distances différentes et sous diverses conditions.

Mr. de T. Ce calcul suppose qu'on compte pour rien le tems que la lumière du coup de canon employe pour parcourir la distance donnée.

Mr. de P. Et avec raison, ce tems étant si court pour ces distances qu'il est impossible de l'observer et bien inutile d'en tenir compte.

Mr. de T. Cette vitesse de 1038 pieds est-elle constamment la même?

Mr. de P. Oui, pour les sons forts et faibles, par le beau comme par le mauvais tems. Le vent seul peut la changer; il l'augmente de toute sa vitesse quand il souffle dans la direction du son entre les deux observateurs, et la diminue de toute sa vitesse quand il souffle dans une direction opposée. Lorsqu'il souffle à angles droits il ne change pas la vitesse du son.

Newton a essayé longtems avant les expériences, de fixer par la théorie seule la vitesse du son, et son calcul lui a fourni une vitesse de 906 pieds, qui diffère d'un huitième de la vitesse observée. Le célèbre La Place a imaginé un moyen de concilier les résultats de la théorie et de l'expérience; moyen que je vous ferai connoître lorsque nous traiterons des phénomènes de la chaleur.

Nous avons examiné la propagation des sons dans l'air atmosphérique. Voyons si cette propagation a lieu dans d'autres milieux et commençons par les autres gaz. Un Physicien françois, nommé Pérolle, nous a donné, les experiences suivantes:

Après avoir placé sa montre sous une cloche remplie successivement de différents gaz, il s'éloignait de la cloche jusqu'à ce qu'il cessât d'entendre le tic-tac de la montre. Les résultats ont indiqué des distances très différentes les unes des autres, nommément $56\frac{1}{4}$ pieds pour l'air atmosphérique, $48\frac{1}{2}$ pour le gas acide carbonique, 63 pour le gas oxygène, 11 pour le gas hydrogène. Et ces distances ne sont point en raison

de la densité ou de l'élasticité spécifique de ces gaz; ce qui prouve que la faculté de propager le son plus ou moins fortement est une propriété spécifique de chaque gaz.

L'eau, ce fluide liquide, qui a si peu de compressibilité, ou peut-être point du tout par lui-même, propage le son avec beaucoup plus de facilité que l'air; il en est de même de l'esprit de vin et de l'huile d'olives. Le tic-tac de la montre de Pérolle ne s'entendoit plus au travers de l'eau à une distance plus que triple, au travers de l'esprit de vin à une distance plus que deux fois et demie aussi grande, et au travers de l'huile d'olives à une distance double de celle à laquelle il cessoit d'être entendu au travers de l'air.

Il suit de ces expériences que l'air est un des plus foibles conducteurs du son, et les expériences faites avec des corps solides prouvent que ces corps surpassent également l'air atmosphérique à cet égard.

Nous avons même des expériences sur la vitesse du son propagé par des corps solides. Les meilleures sont celles de Biot, que ce célèbre Savant a faites sur une suite de tuyaux de fer fondu, longue de près de 3000 pieds. La matière de ces tuyaux propageoit le son dix fois et demie plus vite que l'air. Et comme chacun de ces tuyaux étoit séparé de son voisin par des rondelles de plomb et de cuir gras pour rendre le tout imperméable à l'eau, et que ces rondelles n'avoient que peu d'élasticité, il est clair qu'elles occasionnoient une perte de vitesse et que parconséquent le fer fondu seul eut propagé le son avec plus de célérité.

Mr. de G. Mais quelle peut être la raison que la

Nature a eue de donner à l'air moins de force conductrice pour le son qu'à presque tous les autres corps, l'air étant le milieu proprement destiné à la propagation du són?

Mr. de P. Imaginez que l'air atmosphérique propageât le son aussi fortement que l'eau ou le fer fondu, c'est-à-dire 10 à 20 fois plus fortement qu'il ne le fait, nos oreilles supporteroient-elles ces violentes impressions? Et à coup sur nous serions moins en état de distinguer la finesse des sons. Au contraire je trouve l'ouvrage du Créateur admirable à cet égard. Les sons nous parviennent à des distances assez considérables et en même tems notre sens de l'ouïe est assez délicat pour distinguer des milliers, peut-être des millions, de nuances dans les sons, nuances que le calcul est bien loin de pouvoir atteindre. Passez en revue un régiment de soldats, faites parler chacun de ces deux mille hommes et vous trouverez que chacun d'eux a une modulation de voix particulière que vous distinguerez parfaitement. Votre ami absent depuis des années arrive-t-il sans être attendu? Avant que vous l'ayez vu vous reconnoissez sa voix, cette voix chérie qui vous le fait distinguer parmi tant d'êtres indifférents qui vous entourent chaque jour. Cela vaut bien, je pense, le plaisir futile d'entendre jaser quelqu'on à 500 toises de distance ou au travers des cloisons de plusieurs chambres.

Plaçons un carillon ou un timbre d'horlogerie sur une table et observons en bien la force du son. Puis couvrons le d'une cloche de verre. La force du son est diminuée de plus de moitié. Une seconde cloche

pardessus la première produit une nouvelle diminution; une troisième, quatrième, de même, et à la cinquième le carillon n'est presque plus entendu. D'où vient cette diminution, le verre étant un corps solide, le plus élastique de tous, et parconséquent capable de propager le son beaucoup mieux que l'air? On a cru que, le verre étant à peu près 2000 fois plus dense que l'air, les vibrations de l'air intérieur ne peuvent exciter dans le verre que des vibrations 2000 fois plus foibles qu'elles-mêmes et que c'étoit là la cause de cet affoiblissement du son. Mais cette explication n'est pas juste, par ce principe que quiconque prouve trop ne prouve rien. Car si l'explication étoit vraie la première cloche ne transmettroit que $\frac{1}{2000}$ du son du carillon, c. à. d. environ mille fois moins qu'elle n'en transmet. En outre cette vibration du verre, deux mille fois plus foible que celle de l'air intérieur, doit se communiquer à l'air extérieur qui est également 2000 fois moins dense que le verre. Donc la vibration du verre suffira pour produire dans l'air extérieur une vibration aussi forte que celle de l'air intérieur de la cloche. Ainsi l'on devroit entendre le son au travers de la cloche aussi bien que sans la cloche. Nous avons un fait analogue dans le choc des corps élastiques. Supposez trois balles parfaitement élastiques suspendues l'une près de l'autre, les trois en ligne droite, et celle du milieu ayant, si vous le voulez, 2000 fois plus de masse que chacune des deux autres. Si l'on fait choquer une des petites balles sur la grande, celle-ci restera en place et la troisième partira avec la même vitesse que si elle avoit été choquée immédiatement par

la première ou bien comme si celle du milieu n'avoit eu que la même masse que la première et la troisième.

Mr. de T. Cela est clair. Mais je ne conçois plus le phénomène de la diminution du son par la cloche de verre.

Mr. de P. A dire vrai je ne le conçois pas trop non plus. Mais je tire de ce phénomène et de plusieurs autres analogues une loi particulière qui est, que lorsque le son doit se transmettre au travers de plusieurs milieux hétérogènes, sa force s'affoiblit considérablement; ou, pour m'exprimer très briévement: *L'hétérogénéité des milieux affoiblit la propagation du son.*

Mr. de T. Quelle peut être la raison de cet affoiblissement si tous les milieux sont par eux-mêmes au moins d'aussi bons conducteurs du son que l'air?

Mr. de P. Si nous connoissions bien la nature des vibrations de tous les corps sonores, nous pourrions peut-être expliquer la chose. Car il est certain, d'après tout ce que nous savons de ces vibrations, qu'elles ont pour chaque corps sonore quelque chose de particulier; et comme nous ne pouvons imaginer aucune différence dans deux mouvemens que relativement à la force qui le produit et à la direction qu'il a, et que dans le cas en question la force n'y entre pour rien, nous devons présumer que ces petits mouvemens ont une direction particulière pour chaque espèce de corps, différente de celle de tous les autres et que parconséquent les directions de ces petits mouvemens d'un corps sonore à un autre seront obliques l'une à l'égard de l'autre. Or . . . .

Mr. de L. Arrêtez un moment, monsieur *de P.*, pour prévenir votre auditoire de l'arrivée du grand sorcier de la Mécanique!

Mr. de P. (riant) Assurément, le théorème du parallélogramme des forces est en marche. Je dis donc que dans tous les cas où deux masses agissent l'une sur l'autre en directions obliques, le théorème du parallélogramme des forces nous prouve qu'un déchet de force ou de mouvement doit absolument avoir lieu.

Mr. de L. Voilà la théorie construite, la difficulté levée, le paradoxe expliqué! Votre baguette magique ne vous laisse jamais dans l'embarras.

Mr. de P. Je désirerois fort que vous eussiez raison. Malheureusement cette explication n'est qu'une hypothèse, par ce que nous ne savons rien des directions de ces mouvemens des particules des corps sonores, l'expérience et le calcul nous laissant dans une obscurité complette à cet égard.

Mais ce qui m'embarasse le plus, c'est que j'ai observé que le ton du carillon baisse de plus en plus à mesure qu'on augmente le nombre des cloches dont on se sert dans nos expériences. Deux musiciens, que je consultai alors que je les fis, m'ont assuré qu'à la quatrième cloche le son est d'un ton entier plus grave.

Passons à présent à la *propagation du son par réflexion*. Lorsqu'un mur ou une paroi quelconque arrête la suite des vibrations de l'air, ces vibrations doivent se renouveller en sens contraire comme nous avons vu qu'une balle élastique, tombant sur un plan dur, rebondit et nous offre le phénomène du mouvement réfléchi. Ce retour des vibrations de l'air produit un

nouveau son que l'on nomme *l'écho*, et si ce nouveau son se trouve arrêté par une ou plusieurs autres parois disposées de manière à recevoir le son l'une de l'autre, il se répétera autant de fois, mais toujours plus foiblement, jusqu'à ce qu'enfin le son n'étant plus sensible, il nous rappelle celui d'une voix mourante.

Mr. de R. Malheureuse Echo! Victime de la jalousie de Junon!

Mr. de L. Avouez que le supplice horrible de cette Nymphe ne peut avoir été imaginé que par une femme implacable, et qu'Ovide, qui en attribue l'invention à la Reine de l'Olympe, connoissoit bien les femmes.

Mr. de R. Méchant! Pourquoi vous ai-je donné occasion de faire ce sarcasme?

Mr. de L. Je plains comme vous cette pauvre Nymphe Vocalis (Jaseuse) qui, pour avoir endormi par son babillage la vigilance de Junon tandis que son auguste époux couroit après les nymphes de l'Hélicon, se trouve condamnée (Ciel! quel tourment!) à ne jamais parler la première et à ne pouvoir que répéter les derniers mots que d'autres prononcent. Je la plains vous dis-je; mais j'admire la sublime cruauté de Junon qui sut si bien choisir sa vengeance et, pour surcroit de méchanceté, lui faire trouver le beau et insensible Narcisse qui la fuit, effrayé de n'entendre répéter que ses propres paroles. Mais ce n'est pas tout: La Nymphe, dévorée d'amour, se consume, se dessèche; ses ossemens se changent en rochers et en arbres pour être chargés à l'avenir de la triste fonction que l'implacable Déesse a imposée à la Nymphe. Convenez que ce suppli-

ce, perpétué dans tous les échos des bois et des rochers, est la plus belle idée de toute la Mythologie grecque!

Mr. de R. Assurément, et je me réjouis cette invention, puisque vous participez à la punition de la Nymphe en vous faisant vous-même l'écho du perfide Poëte.

Mr. de P. Paix, monsieur *de R.*, et laissons à la Physique le soin de réfuter le Poëte et le Général par la théorie de la réflexion des sons. Cette réflexion s'exécute régulièrement dans des salles ou des voûtes de forme elliptique, où la personne qui parle se place à l'un des foyers et celle qui écoute à l'autre. Celle-ci entend à une grande distance les moindres sons de l'autre, par ce que toutes les vibrations, qui partent de l'un des foyers et arrivent à la circonférence, se réflêchissent vers l'autre foyer.

Mr. de T. Je conçois que la Géométrie explique les échos artificiels. Mais je ne comprends pas le mécanisme de l'écho d'une montagne; car si je me trouve dans une vallée et que je parle du côté de la montagne, il me semble que la réflexion du son devroit se perdre dans les régions élevées de l'air et non redescendre vers mon oreille.

Mr. de P. Votre objection seroit parfaitement juste et fondée sur la loi du mouvement réfléchi qui, lorsque le plan frappé est incliné, ne ramène jamais la balle au point d'où elle est partie. Mais nous ne pouvons pas admettre que la surface d'une montagne soit un plan géométrique; elle est un composé d'une infinité de petits plans inclinés presque en tous sens, dont chacun renvoie la vibration qu'il reçoit suivant la loi

de réflexion. Doù il s'en suit que le son doit être réfléchi en tous sens par la surface inégale d'une montagne. Ce qui explique pourquoi cet écho s'entend presque partout, mais très foiblement en comparaison du son direct, et d'une manière toujours moins distincte.

Le jeune de L. D'où vient que, si chaque paroi doit produire un écho, nous n'en avons pas dans nos chambres?

Mr. de P. Nous en avons dans de très grandes salles, et des salles de moyenne grandeur occasionnent un bourdonnement qui est un commencement d'écho. Il suit de là que pour produire l'écho il faut un certain espace entre la paroi qui renvoie le son et la personne qui écoute ou qui parle.

Le jeune de L. Mais pourquoi faut-il un certain espace et pourquoi n'entend-on pas l'écho à dix pieds d'une muraille?

Mr. de P. Dites moi, mon cher, combien de sons successifs vous pouvez distinguer dans le tems d'une seconde.

Le jeune de L. Je n'y ai jamais songé.

Mr. de P. Neuf, si vous avez l'oreille très fine, et sept, si votre oreille n'est pas formée par la musique. Prenons le nombre huit comme nombre moyen. Quand pourrez-vous donc distinguer l'écho de la voix directe?

Le jeune de L. Lorsque le tems nécessaire au son pour aller de ma bouche à la paroi et revenir de la paroi à mon oreille, ne sera que $\frac{1}{8}$ de seconde,

Mr. de P. Fort bien. Dites moi à présent quel espace le son parcourt dans un huitième de seconde.

Le jeune de L. 1038 pieds dans une seconde, ainsi près de 130 pieds dans un huitième. . . . . Ah! je comprends. Ces 130 pieds font ensemble l'aller et le venir du son; Ainsi la distance de laquelle on peut entendre l'écho de sa propre voix doit être au moins la moitié, c. à. d. 65 pieds.

Mr. de P. Vous y voilà, et vous concevez à-présent que dans une chambre ordinaire l'écho doit se confondre parfaitement avec le son directe et que dans une salle de 50 à 60 pieds de longueur on ne peut entendre que très peu de l'écho; ce n'est proprement que le son doublement réflêchi et parconséquent très affoibli et nullement distinct. Vous jugerez en outre qu'il est fort heureux pour nous tous que la vitesse du son ne soit pas dix ou vingt fois plus grande qu'elle n'est. Car alors on entendroit distinctement l'écho de chaque parole à six ou à trois pieds de distance et nous serions obligés de nous renfermer dans des chambres d'un aussi petit diamètre pour pouvoir parler distinctement.

On a des échos très curieux. Tel est celui près de Verdun produit par deux grandes tours carrées distantes entre elles de 156 pieds. Un mot prononcé entre ces deux tours se répète douze à treize fois. Celui du château de Simonetta, produit par quatre murs élevés, répète jusqu'à 40 fois une syllabe prononcée à une certaine fenêtre. Ces répétitions vont proprement à l'infini, mais comme elles deviennent par les raisons alléguées de plus en plus foibles, on finit par ne plus les

entendre. L'écho près du tombeau de Metella à Rome répète le premier vers de l'Enéide ou tout autre hexamètre jusqu'à 8 fois. La maison de campagne de Génétay près de Rouen, combinée avec le mur demi-circulaire de la cour, produit un écho très remarquable; lorsqu'une personne marche en chantant de la porte de la maison vers la porte de la cour, elle n'entend que sa voix naturelle, tandis que d'autres personnes, placées à d'autres endroits de la cour, entendent l'écho de la chanson, mais avec des variations.

Retournons pour un moment à notre salle de Musique, à l'ouverture de la création de Haydn, et considérons le nombre inconcevable de rayons sonores qui se croisent dans l'atmosphère de cette salle, et non seulement les rayons directs, comme nous l'avons déja fait, mais aussi les rayons réflêchis plusieurs fois par les murs, qui, quoique non sensibles à l'oreille, n'en existent pas moins, et concevons, s'il est possible, la régularité avec laquelle cette masse de sons se propage!

Mr. de T. Cela surpasse toute imagination et l'air atmosphérique qui transmet à notre oreille tant de mouvemens divers et en exécute tant d'autres que nous n'apercevons pas, me paroit être la plus sublime des machines.

Mr. de P. Terminons notre entretien par la considération d'une nouvelle espèce de propagation du son. Lorsque les vibrations de l'air, correspondantes à un certain ton, rencontrent un corps solide, par ex. une corde tendue, une cloche de verre, accordé à l'unisson du ton donné, ce corps se met lui-même en

vibration et fait entendre son propre son qui se mêle à celui du premier. Ce phénomène est connu sous le nom de *résonnance*. C'est ainsi qu'on fait résonner un gobelet de verre en produisant le ton de ce gobelet sur un autre instrument, et l'on a des exemples de personnes qui ont produit avec leur voix des commotions si fortes que le gobelet s'est cassé. On a des violons munis d'un double assemblage de cordes, dont les supérieures sont des cordes de violon ordinaire et les inférieures des cordes de métal, dont chacune est à l'unisson de sa corde supérieure. Ce son double a quelque chose de doux et d'agréable.

L'effet des tables de résonnance de tous les instrumens à cordes doit être jugé d'après ce principe. Ces tables composées de fibres parallèles (raison pour laquelle on choisit le bois de sapin le plus égal possible) ont des figures irrégulières ou au moins telles que la longueur des fibres soit très inégale; et quand on leur donne par d'autres raisons une figure de parallélogramme, on y applique un chevalet courbe, ou bien droit, mais placé de biais, pour obtenir cette inégalité, la partie extérieure se trouvant par là exclue de l'action de la table de résonnance.

Cette table se trouve composée par là d'un grand nombre de corps sonores capables de résonnance et de différentes longueurs, parmi les quels il s'en trouve toujours un ou plusieurs à l'unisson de chaque ton que l'instrument doit fournir. Et lorsque la figure de toute la table ne suffit pas à cette variété, alors on la perce encore d'un ou de plusieurs trous de figures régulières ou irrégulières. Cette idée de l'effet des tables de ré-

sonnance n'est pas une pure hypothèse; je m'en suis bien assuré par des expériences que j'ai fait faire en ma présence par un habile Musicien sur un forte-piano. En touchant la table de résonnance avec le doigt à un certain point, le son d'une certaine note se trouvoit affoibli d'une manière très sensible, mais pas celui d'autres notes, que l'on affoiblissoit à leur tour en touchant cette table à d'autres points.

La résonnance sert non seulement à donner plus de force, en quelque sorte plus de corps, aux tons, mais aussi elle forme des passages de chaque ton à son suivant, qui lient tous les tons et leur donnent plus d'harmonie. Ces considérations sur les tables de résonnance justifient la figure baroque des violons et autres instrumens de cette espèce.

Trente et unième entretien.

Mr. *de P.* Nous avons terminé notre dernier entretien par la considération des tables de résonnance et nous avons expliqué leur effet, celui de renforcer le son, en les regardant comme des assemblages de fibres élastiques de différentes longueurs dont chacune est censée être à l'unisson d'un certain ton. Mais elles renforcent le son encore d'une autre manière, en ce qu'elles renferment un espace plein d'air limité de tous côtés par les autres parois de l'instrument. Cet air renfermé reçoit les vibrations de la table de résonnance, se met lui-même en vibration et propage le son à l'extérieur par une ou deux ouvertures qu'on a ménagées à cet effet.

Cette considération nous conduit à examiner comment une portion d'air circonscrite dans certaines limites peut renforcer le son, effet dont nous avons tant d'exemples dans les instrumens-à-vent.

Commencons par un simple tuyau ABED (fig. 60) de quelques pouces de diamètre et d'une longueur indéterminée. Supposons qu'au milieu C de son ouverture AB il se forme un son et considérons deux rayons sonores Ca, Ci faisant le même angle avec l'axe du tuyau.

Ces deux rayons seront réflêchis à angles égaux en a et i par les parois du tuyau qu'ils atteindront de nouveau en e et h pour être réflêchis une seconde fois, puis une troisième, une quatrième fois, jusqu'à ce qu'enfin ils se croisent en g hors du tuyau et se propagent de là dans l'air à des distances illimitées. Il est clair que l'angle g étant le même que l'angle a c i, si notre oreille se trouve placée en l à une distance quelconque du tuyau, elle recevra les vibrations sonores comme si elles venoient du point g et non du point C. Ainsi nous avons gagné par là toute la distance de la longueur du tuyau quant à la force avec laquelle le son frappera notre oreille.

Le jeune de L. On doit donc entendre un son au bout d'un tuyau de toute longueur aussi fortement que si on étoit tout près du point où l'on exécute le son!

Mr. de P. Assurément; cette simple théorie le prescrit et l'expérience, faite sur des tuyaux de plusieurs mille pieds, le confirme. Mais ce n'est pas tout. Ces deux rayons sonores que nous avons vus se réflêchir dans le tuyau ne sont pas les seuls. Ce n'est qu'une paire d'une très grande quantité de rayons semblables dont je vous en dessine quelques-uns, comme Cn, Cm, qui partant tous du point C se réflêchissent, se croisent également dans le tuyau et en ressortent comme la première paire.

Ainsi le tuyau concentre en quelque sorte tous ces rayons sonores qui arrivent à ses parois, qui sans le tuyau se perdroient inutilement dans l'air pour l'oreille placée en l, et les conduit au moyen de plusieurs ré-

flexions à l'autre extrémité DE du tuyau d'où ils sortent tous sous le même angle qu'ils formoient originairement entre eux en partant du point C.

Vous vous ferez une idée de cet effet du tuyau en imaginant une plaque fort près de l'ouverture DE. Les rayons sonores directs qu'elle recevra du point C, que le tuyau soit là ou non, seront tous contenus dans un cône dont l'angle du sommet est l'angle DCE. Les rayons réfléchis que la même plaque du diamètre DE recevra seront ceux qui sont contenus dans un cône de même base, mais dont l'angle est nCm, si Cn et Cm sont les premiers rayons qui atteignent les parois du tuyau. Ainsi si l'angle DCE est de 10 degrés et l'angle nCm de 160 degrés . . . . .

Le jeune de L. La plaque placée en DE recevra 16 fois plus de rayons sonores au moyen du tuyau, qu'elle n'en recevroit sans le tuyau.

Mr. de P. Non pas 16 fois, mais seize fois 16 fois ou 256 fois, parce que, comme il s'agit ici de surfaces, il faut prendre le carré de la proportion de 1 à 16.

Mde. de L. Je ne comprends pas cela. Vous êtes grand amateur du carré des nombres.

Mr. de P. Le moins possible, Madame. Mais ici je ne puis me passer d'eux; permettez moi de vous éclaircir la chose. Si vous voulez supprimer le tuyau et cependant recevoir sur une plaque placée en DE tous les rayons sonores contenus dans le cône qui a à son sommet l'angle nCm, il est clair que votre plaque devra avoir un diamètre 16 fois aussi grand que DE, et qu'elle aura parconséquent une surface 256 fois aussi grande que la plaque du diamètre DE. Donc chaque

point sensible de la petite plaque, qui reçoit les rayons réflêchis par le tuyau, recevra 256 fois plus de rayons sonores que chaque point sensible de la grande.

Mde. de L. Je fais mes excuses aux nombres carrés ou aux carrés des nombres. Mais veuillez nous dire si réellement on entend au moyen d'un pareil tuyau un son 256 fois plus fortement que sans le tuyau à la même distance.

Mr. de P. Non, Madame, et le résultat de l'expérience est bien au dessous de celui du calcul. Le son est à la vérité considérablement renforcé, mais pas dans une telle proportion, d'un côté parce que le son n'est pas réflêchi avec une régularité parfaite, et que parconséquent il se propage dans toutes sortes de directions et même à rebours; d'un autre côté parce qu'à chaque réflexion le son s'affoiblit, enfin parce que notre oreille ne peut pas être placée à la fois dans tous les points où elle recevroit chaque couple de rayons sonores qui sort du tuyau.

Le Comte C. Voilà donc les principes sur les quels on a proposé de faire des télégraphes (on devroit les nommer télélogues) au moyen de tuyaux enfouis dans la terre au bout desquels on parleroit pour être entendu à mille lieues.

Mr. de P. L'idée est possible en théorie; mais, sans calculer les frais que ce portevoix exigeroit, je ne me chargerois pas de l'emploi d'auditeur; car les sons articulés se brouilleroient si bien qu'il seroit impossible de rien comprendre.

Le Comte C. Comment céla?

Mr. de P. Un tuyau de 20 à 25 pieds de longueur met déjà un peu de confusion dans les sons articulés. Vous concevrez la chose dès que vous considérerez que chaque couple de rayons sonores, comme Cn et Cm, se trouve réflêchi sur toute la longueur du tuyau plus ou moins de fois que son couple voisin, et que parconséquent il fait plus ou moins de chemin que lui dans le tuyau. Or comme la vitesse absolue du son est toujours la même, il est clair que les rayons le plus fréquemment réflêchis arrivent le plus tard au bout du tuyau, et que parconséquent l'oreille de l'auditeur entendra à une grande distance plusieurs syllabes à la fois, ce qui doit enfin produire une vraie cacophonie. Supposez par ex. que le rayon Cn fasse seulement 4 fois plus de chemin que le rayon CD pour arriver au bout g du tuyau, et que le tems nécessaire à celui-ci soit d'une seconde, il est évident que le rayon sonore Cn n'arrivera qu'au bont de 4 secondes. En supposant que la longueur du tuyau (à cette condition que le son CD arrive au bout d'une seconde) soit de 1000 pieds, il est clair qu'il faudra un intervalle de 4 secondes au moins entre deux syllabes prononcées pour que chacune puisse être entendue séparément; car le son de chacune durera 4 secondes. Ainsi un tuyau de 1000 pieds permettroit à peine de prononcer 15 syllabes par minute, et pour une longueur de 15000 pieds ou d'un peu plus d'une lieue de france on ne pourroit prononcer qu'une syllabe dans une minute, et une petite dépêche de 60 syllabes exigeroit pour être prononcée distinctement au moins une heure, tems qui suffiroit pour porter à pied la dépêche.

Mr. de G. Ce simple calcul prouve combien il

est nécessaire d'avoir égard à toutes les circonstances lorsque, sur la foi de quelques expériences en petit et un léger aperçu de théorie, on veut proposer des nouveautés.

Mr. de P. On a bien senti l'inconvénient qui résulteroit de la cacophonie qui auroit lieu par cette manière de porter la voix à de grandes distances, et pour l'éviter on a proposé de frapper des coups de marteau sur une petite cloche. Mais ce remède est pire que le mal. Car alors il faudroit exprimer chaque syllabe par des lettres à part, dont chacune seroit rendue par un certain nombre de coups de marteau sur le timbre, et le nombre moyen de ces coups sera de 12 pour chacune des 24 lettres de l'alphabet; or comme on peut admettre que chaque syllabe a en nombre moyen trois lettres au moins, il est clair que chaque syllabe exigera un nombre moyen de 36 coups de marteau, et parconséquent 144 secondes ou 2 minutes et 24 secondes pour être transmise, ce qui feroit 2 heures et 24 minutes pour une petite dépêche de 60 syllabes, portée à la distance d'une lieue!

Mr. de R. Voilà les télégraphes acoustiques mal dans leurs affaires! On n'en fera pas de sitôt.

Mr. de V. (souriant) J'en suis au désespoir! Ces télélogues souterrains cadreroient si bien avec la Politique! Et rien de mieux imaginé que l'idée de placer le ministre de Pekin ou de Pétersburg à un bout d'un tuyau et celui de Lisbonne à l'autre bout pour traiter les affaires. On pourroit au moins être sur du secret.

Mr. de P. Aussi longtems que le cabinet de Vien-

ne ou tout autre, sur ou sous le territoire duquel votre télélogue passeroit, ne s'aviseroit pas de faire un trou au tuyau pour se faire le confident de ces entretiens secrets.

Le Comte C. Vous avez nommé une fois ce télélogue porte-voix. Veuillez nous instruire des qualités d'un instrument qui n'a rien de secret, du vrai porte-voix; ne fut-ce que pour déjouer la politique de monsieur *de V.*

Mr. de L. Rivalité de métier!

Mr. de V. Que vous éprouvez vous-même, Général, parce que le Comte empiète pour la première fois un peu sur votre droit d'être méchant.

Mr. de G. Le Général a raison: *principiis obsta.*

Mr. de P. Si je ne vous interromps pas, messieurs, il paroît que nous allons tous usurper le domaine du Général. Ainsi parlons du *porte-voix*, quoique, à la vérité, je ne sache guères que vous dire de cet instrument.

Ce qu'il y a de sur c'est que le porte-voix est un tuyau dont l'embouchure est étroite et l'ouverture opposée très large. Quant aux dimensions des autres diamètres de ce cône, rien de plus incertain que ce que nous avons à faire pour donner à cet instrument un haut degré de perfection. Le premier portevoix, inventé par l'anglois Morland en 1671, avoit la forme d'une trompette, comme la figure que je vous dessine (fig. 61), figure qui s'approche de l'hyperbole, proposée déjà en 1672 par Cassegrain et travaillée depuis par Bernouilli et Euler, et qu'on regarde aujourd'hu comme très susceptible non seulement de renforcer le son mais

aussi de propager les sons articulés avec une certaine précision surtout si on parle dans le ton propre à l'instrument. Un allemand, nommé Jean Mathias Hase a donné au porte-voix une figure toute contraire BADE, (fig. 62) c. à. d. parabolique, afin que les directions des rayons sonores deviennent toutes parallèles à l'axe du tuyau et se disséminent moins à l'extérieur. Mais pour cet effet il faut que la voix parte du foyer F de la parabole. Pour obtenir ce but Hase a ajouté au tuyau parabolique un tuyau elliptique G dont un des foyers est au même point F que celui du cône parabolique, et l'autre à l'embouchure C. On a décrié cet instrument; mais j'en ai vu un de 8 pieds de longueur qui faisoit un très bon effet, soit pour la force, soit pour la clarté des sons articulés. Enfin Lambert a congédié toutes les courbes et construit tout simplement son porte-voix en forme de cône rectiligne, dont l'angle du sommet est égal à 13 degrés pour une longueur d'environ 5 pieds; ce qui fournit une embouchure d'environ $1\frac{1}{2}$ pouce et une ouverture BE de 13 p. de diamètre. Cette espèce de portevoix fait également un bon effet, et je ne suis pas en état de vous dire auquel de ces trois instrumens je donnerois la préférence. J'ajouterai seulement que, comme le métal des porte-voix vibre lui-même par les impulsions de l'air et lui communique de nouvelles vibrations qui diminuent la clarté des sons, on conseille avec raison de le recouvrir d'une enveloppe de laine qui anéantit les vibrations du métal.

Mr. de T. Ces diverses constructions du porte-voix, qui sont toutes bonnes et dont aucune n'a une préeminence décidée, prouvent, ce me semble, qu'on

ignore encore bien des choses sur la nature du son réfléchi.

Mr. de P. Assurément et nous sommes dans le même cas à l'égard d'un autre instrument dont se servent les personnes qui ont l'oreille dure et qu'on nomme *cornet.* On lui donne différentes formes qui se rapportent toutes à une figure de cône, recourbé ou même replié en différents sens pour la commodité. Le petit bout du cône se place à l'entrée de l'oreille, et le bout large reçoit les sons et les transmet renforcés jusqu'au canal auditif. Le cornet est proprement un porte-voix renversé.

Au reste il y a un choix à faire parmi les cornets suivant le degré de surdité. Une personne qui n'a l'oreille que peu dure ne doit pas se servir d'un cornet d'un grand effet, c. à. d. qui renforce considérablement les sons.

Mr. de T. Quelle peut en être la raison? On ne pourroit avoir à craindre que d'entendre trop fort, inconvénient qu'on pourroit toujours prévenir en s'éloignant davantage de la personne qui parle ou en détournant l'ouverture du cornet de sa direction.

Mr. de P. N'oubliez pas que le cornet renforce tous les sons et parconséquent aussi mille petits bruits qui ont lieu autour de nous, que nous n'apercevons pas ordinairement, mais qui, renforcés par le cornet, deviennent forts et incommodes et diminuent la clarté des sons qu'on veut entendre, qui l'est déjà par la nature de l'instrument. Notre but ne peut pas être d'entendre fortement, mais distinctement. Ce sont ces petits bruits, d'ailleurs imperceptibles, qui ont lieu

tout le jour tant qu'il y a dans la maison quelque mouvement, qui produisent le bourdonnement que nous entendons lorsque nous plaçons à l'oreille l'ouverture d'une de ces grandes et belles coquilles de forme d'escargot qu'on trouve dans les cabinets de Conchyologie. Ces petit bruits mettent l'air contenu de la coquille en vibrations qui se propagent en tout sens et finissent par en ressortir par la grande ouverture, la seule qu'ait cet instrument acoustique, qui sûrement serviroit de cornet si l'on adaptoit à son sommet un petit tuyau qui conduisit le son dans l'oreille.

Mr. de G. Ainsi la Nature, toujours infiniment riche dans ses productions, nous a donné dans ces coquilles, déjà si intéressantes à tant d'autres égards, un modèle d'un instrument acoustique.

Mr. de P. La corne de vache, si connue en Suisse comme instrument de Musique, est également un modèle de porte-voix; exécutée sur de plus grandes dimensions c'est le porte-voix de Lambert; car la courbure de la corne entière ne fait rien à la chose. La Lyre d'Apollon était originairement un crâne de boeuf armé de ses cornes entre lesquelles on a tendu des cordes de boyeau; et les cornes faisoient, de même que le crâne, l'effet de la table de résonnance. On a ensuite construit la lyre en bois; puis on a réuni les deux cornes en forme de manche; ce qui a produit la guitare, à laquelle enfin on a donné un double ventre pour augmenter la résonnance; et voilà le violon, petit-fils de la lyre et arrière-petit-fils d'une tête de boeuf.

Les arbres, les forêts, sont des harpes immenses

que l'agitation de l'air met en vibration. Le vent touche ces cordes innombrables, les fait résonner et produit cette musique singulière et imposante qui inspira à Ossian ses chants immortels, dont les accords répondent si bien à ce désordre sublime des sons de la forêt tantôt doux et suaves, tantôt impétueux et sublimes. L'homme a imité en petit cet instrument gigantesque de la Nature par l'invention de la *harpe d'Eole*, dont les cordes, agitées par un courant d'air formé dans l'ouverture étroite d'une fenêtre, portent à l'oreille étonnée ces sons incompréhensibles, cette harmonie sublime dont l'art n'a jamais pu imiter la cadence mystérieuse, musique ravissante qui semble descendre immédiatement du ciel et qui dit à l'ame exaltée que l'homme est destiné à une existence plus pure et plus heureuse que son existence terrestre.

Mde. de L. Que j'aimerois à entendre cette musique ravissante!

Mr. de P. Rien de plus facile, Madame, et je me charge de vous procurer ce plaisir aux premiers jours,

Mais puisque nous en sommes aux instrumens naturels de Musique, permettez moi, de vous décrire deux autres instrumens acoustiques où la Nature a développé la magie de l'art le plus profond, *l'organe de la voix et l'organe de l'ouïe*, que nous sommes encore bien loin de comprendre à tous égards et dont parconséquent je ne pourrai vous donner qu'une esquissé bien imparfaite,

L'homme employe sa voix à deux usages, à la parole et au chant, sans compter les accents de la joye,

de la douleur, de l'étonnement &c. — La parole consiste en sons que nous nommons articulés, par opposition aux sons du chant qui coulent en quelque sorte les uns dans les autres. Pour chaque individu les sons de la parole ont d'ordinaire un seul et même ton, varié par une infinité de timbres qui correspondent aux lettres de l'alphabet et à leurs combinaisons dans chaque syllabe. Les sons du chant au contraire varient très peu par le timbre mais beaucoup par le ton et comprennent jusqu'à trois octaves. Ainsi la voix humaine réunit les propriétés de chaque instrument de musique et les timbres particuliers d'une trentaine d'instrumens. Tel est le problème que la Nature s'est proposée de résoudre par l'organe de la voix humaine. Tâchons, sinon d'expliquer, au moins de deviner par quels moyens elle est parvenue à sa solution.

L'organe primitif de la voix est un instrument-à-vent. L'air nécessaire à son jeu lui est fourni par le poumon, et nous ne pouvons qu'admirer cette double fonction du poumon, celle de faire sortir de notre corps un air gâté par le procès vital, air qui, s'il n'étoit éloigné de l'intérieur de notre corps, nous infecteroit bientôt de maladies mortelles, l'autre d'employer cet air inutile et dangereux à notre organisation à produire la voix (la parole et le chant) qui forme les liens moraux de la société humaine, nous procure les plus nobles agrémens de la vie et élève l'intelligence de l'homme infiniment au dessus de toutes les autres.

Mr. de R. Qui de nous ne connoissoit pas ces deux fonctions du poumon? Mais qui de nous a songé à les rapprocher ainsi et à fixer l'attention sur la Sages-

se infinie qui sait atteindre tant de buts différents avec les mêmes moyens? La science seule nous fait faire ces belles comparaisons qui finissent toujours par nous ramener à l'Auteur de toutes ces merveilles.

Mr. de P. L'air pressé hors du poumon pendant l'expiration passe dans *la trachée - artère*, tuyau flexible composé d'anneaux cartilagineux placés l'un sur l'autre et joints par une membrane étroite et élastique qui va de l'un à l'autre. Cette construction donne à la trachée-artère la possibilité de se courber, de s'allonger et de se raccourcir. Ce tuyau se termine à l'entrée du gosier par un appareil particulier qui se nomme *la glotte* et qui est composé de deux lames membraneuses rectangulaires, placées parallèlement l'une à l'autre à une très petite distance et susceptibles de se rapprocher plus ou moins. L'intervalle de ces deux lames offre ainsi une fente étroite, dans laquelle l'air qui vient du poumon est forcé de passer pour arriver à la bouche.

Au dessus de la glotte se trouve une membrane élastique, épaisse et en forme de langue, *l'épiglotte*, fixée par sa base seulement en sorte que son bout, tourné vers le bas, peut s'abaisser sur la glotte et s'élever sous différentes inclinaisons un peu au dessus d'elle.

L'air, après avoir passé avec rapidité par la glotte, se trouve dans la cavité de la bouche, espace qui n'a que deux ouvertures, la bouche proprement dite et un canal qui aboutit du fond du palais aux fosses nasales. L'orifice de ce canal est tantôt ouvert, tantôt fermé par une soupape membraneuse en forme de voile, com-

me celles du coeur, et qu'on nomme *la voile du palais*.

L'intérieur de la bouche comprend *la langue*, muscle élastique, très mobile, capable de beaucoup de souplesse et en même tems d'une rigidité assez considérable et *les dents*, double ratelier d'os de la plus grande dureté. Cette cavité s'ouvre ou se ferme parfaitement par *les lèvres*, muscles de la plus grande souplesse et susceptibles de produire des ouvertures de figures et grandeurs très variées.

Voilà les parties de cet admirable instrument. Essayons d'en examiner le jeu.

La trachée-artère, d'une médiocre longueur et dont le raccourcissement ou l'allongement est très limité, ne peut guères être considéré comme destiné à produire par sa longueur si peu variable les sons graves et aigus. Car cette augmentation ou diminution de longueur ne répond pas à l'étendue de l'échelle des tons dont la voix humaine est susceptible, et nous devons supposer que sa flexibilité est motivée par d'autres vues de la Nature. C'est donc la glotte qui produit ces tons variés qui nous ravissent dans le chant, et nous devons la regarder comme une anche libre, c. à. d. dont les deux lames sont minces, élastiques et très mobiles, telles qu'elles le sont dans le haut-bois. Or nous savons que les tons produits par les anches sont d'autant plus aigus que les lames des anches sont plus courtes et d'autant plus graves que les lames sont plus longues. Nous devons donc supposer que pour produire des sons graves et aigus les lames de la glotte doivent s'allonger et se raccourcir, et le moyen le

plus simple que nous puissions imaginer pour cela est que la fente seule qui est formée par les deux lames s'alonge ou se raccourcisse, c. à. d. que le bas des bords extérieurs des lames se touche plus ou moins. Ainsi pour les sons les plus bas la fente aura toute la longueur possible et pour les sons plus aigus les bords des lames se rapprocheront à commencer par le bas jusqu'à une certaine hauteur, en sorte qu'il n'y ait que la partie supérieure des lames qui soit libre et parconséquent en état de s'écarter pour laisser passer l'air. Ce mécanisme peut donc rendre à peu près compte des modulations de la voix dans le chant.

Quant à la parole, distinguons les syllabes qui n'ont qu'une voyelle de celles qui sont en même tems affectées de consonnes. La prononciation des voyelles est la première difficulté à lever. Les voyelles ne sont proprement que des timbres fixes d'un seul et même ton et applicables à tous les tons; car chaque ton peut être exprimé dans chaque voyelle et chaque voyelle peut être en quelque sorte enveloppée dans chaque ton. Si donc la glotte fournit les tons, graves ou aigus, il est probable que l'épiglotte en s'inclinant plus ou moins vers la glotte et en coupant de la sorte l'air qui en sort, et mise elle même dans l'état de vibration par le courant d'air, produit ces timbres bien déterminés que nous nommons voyelles. Ainsi voilà le fondement de la parole posé.

La Nature nous fait prononcer les consonnes en ajoutant au jeu de la glotte et de l'épiglotte celui de la langue, des dents et des lèvres, qui, en modifiant les sons dans la cavité de la bouche et à leur sortie, don-

nent à la voix de nouveaux timbres moins marqués que ceux des voyelles et qui ne peuvent presque pas se prononcer sans voyelles, par ce que le son, passé une fois et répandu dans la cavité entière de la bouche, ne peut plus être modifié aussi complettement qu'au sortir de la glotte où il se trouve dans l'état de la plus grande concentration.

Enfin le canal, qui va du palais aux fosses nasales, semble destiné à donner à tous les sons une plus grande pureté en formant une communication de l'air de la bouche à l'air extérieur; car lorsque cette communication cesse, soit que l'orifice supérieur dans le nez se trouve obstruée par un rhume de cerveau, soit que la voile du palais en ferme l'ouverture inférieure, alors la voix prend un timbre particulier, ce qu'on nomme: parler du nez. La voile du palais paroît donc avoir la prononciation des voyelles nasales pour but.

Mr. de R. Quelle beauté, quelle perfection dans ce mécanisme de la voix! Et comment pouviez-vous dire, monsieur *de P.*, que nous sommes peu instruits à cet égard? Il me semble que vous nous avez tout expliqué. Vous n'avez oublié aucun détail.

Mr. de P. Vous êtes bien bon, mon cher, de vous contenter de si peu. Le tableau rapide que je viens de vous offrir n'est qu'une ébauche, bien grossière et bien vide. Vous ai-je dévoilé le mécanisme qui, en rapprochant les parties inférieures des bords de la glotte, racourcit la fente de cet instrument? Connoissons-nous les muscles qui produisent ces mouvemens infiniment délicats? Connoissons-nous leur jeu qui doit pour chaque ton donner à ces lames, et dans cha-

que point de leur longueur, un degré différent d'élasticité? Sommes-nous seulement bien sûrs que l'échelle des sons s'exécute par ce raccourcissement et cet alongement de la fente de la glotte? Cette idée n'est qu'une hypothèse fondée sur ce que les anches les plus courtes produisent les sons les plus aigus. Qui en outre nous a dit avec certitude que c'est l'épiglotte qui produit les voyelles et sommes-nous en état seulement de nous faire une idée de ce que c'est qu'une voyelle considérée dans les principes de la théorie des sons? Connoissons-nous les mouvemens de la langue lorsque nous parlons, et le mécanisme de ces mouvemens si variés? et sommes-nous en état de nous rendre compte de l'influence de ces mouvemens sur les vibrations de l'air dans la cavité de la bouche? Les deux rangées de dents forment une ouverture longue et étroite du genre de celle des sifflets d'orgue, mais savons-nous quelle influence la largeur plus ou moins grande de cette ouverture doit avoir sur ces timbres de notre voix que nous nommons consonnes? Enfin sommes-nous en état de décrire et surtout d'aprécier avec quelque exactitude l'effet de l'ouverture des lèvres qui varie presque à l'infini de figures et de grandeurs soit pour le timbre, soit pour la force des sons?

Mr. de R. Vous me découragez entièrement par ce tableau de notre ignorance.

Mr. de P. Je vous décourage? Eh bien! vous serez atterré par une nouvelle considération. Je viens de vous donner une idée, encore bien imparfaite, de ces nombreuses opérations, de ces mouvemens infinimens variés que la glotte, l'épiglotte, la langue, les

dents et les lèvres doivent exécuter pour produire les modulations du chant et la magie de la parole. Ces mouvemens, ces opérations, tout ce système admirable de fonctions de l'organe de la voix humaine, ce n'est pas comme celui de ces fonctions naturelles qui ont lieu uniquement en vertu des lois immuables de la Nature que la Mécanique, la Physique et la Chimie nous ont fait connoitre, fonctions aux quelles notre volonté ne participe point et qu'à cet égard on a nommées le système végétal de l'organisation animale. Non, toutes ces opérations sujettes, à la vérité, à ces lois naturelles comme les fonctions végétales, dépendent de notre volonté. C'est nous, c'est notre âme qui met tous ces ressors en mouvement, tous ces organes en activité avec la vitesse prodigieuse que nous observons dans la parole, notre âme qui ignore tous ces mouvemens et toutes ces opérations, qui de règle n'en a pas même l'idée, et qui, même les connut-elle, n'y penseroit assurément pas au moment où elle les exécute. Quel système imaginerez-vous pour résoudre ce problème? — N'en cherchons pas, mon ami, mais prosternons nous et adorons la Sagesse infinie, le Créateur de tant de merveilles, l'Architecte sublime qui a construit ces organes admirables, et nous fait exécuter à tout instant des mouvemens que nous ne connoissons pas, des opérations dont nous n'avons point d'idée. Chaque syllabe que nous prononçons est pour nous un miracle!

Mr. de R. Non, mon cher, vous ne m'avez pas atterré. Au contraire vous m'avez relevé. Vous nous ennoblissez en nous plaçant dans cette rélation intime avec l'Etre suprême, en nous peignant vivement cette

présence continuelle du Tout-puissant qui se manifeste si clairement, si hautement, dans la plus noble partie de notre existence. L'homme n'est rien que par ses points de contact avec la Divinité, mais il est noble et grand par ces sublimes rélations avec Elle.

Mde. de L. Combien ces considérations m'ont émue et combien je me félicite de vous avoir engagé à ces entretiens! Jamais je n'aurois cru que la Physique fut liée si étroitement à la Religion et au coeur.

Mr. de P. C'est moi, Madame, qui dois me féliciter de pouvoir ainsi payer la patience que vous avez eue de me suivre dans bien des discussions qui ont du vous paroître arides. — Demain je vous ferai la description de l'organe de l'ouïe, dont la construction paroît encore plus compliquée et plus difficile à comprendre que celle de l'organe de la voix.

TRENTEDEUXIÈME ENTRETIEN.

Mr. *de R.* Vous nous avez promis, monsieur *de P.*, la description de l'organe de l'ouïe, de cet organe si important par lui-même et qui le devient encore davantage si l'on considère que sans lui l'organe de la voix nous seroit inutile. Car sans la sensation des sons l'homme n'eût jamais inventé la parole.

Mr. de L. L'homme? Je vous crois; mais la femme? Elle eut sûrement inventé la parole, de façon ou d'autres! La nécessité est la mère des inventions.

Mr. de R. L'idée est si plaisante que je ne puis m'en fâcher.

Mr. de P. Je vais mettre d'autant plus de sérieux dans la description de cet organe. Entrons en matière.

La partie extérieure de l'oreille est une espèce de pavillon évasé au dehors, composé de cartilages et revêtu d'une membrane. On le compare ordinairement au cornet acoustique. Il se termine en un canal ovale un peu recourbé, représenté par la figure 63 où khgi est le fond de ce pavillon, fhge le canal en question nommé *con-*

duit auditif. Représentez vous l'extrémité du canal auditif tranchée de biais sous un angle d'environ 45 degrés et fermé soigneusement par une membrane qui a la figure un peu ovale aedf. Cette membrane est tendue en forme de cône très plat dont la pointe c est tournée vers l'intérieur de la tête. On l'appelle la *membrane du tympan.*

Cette membrane sépare le conduit auditif d'un espace qu'on nomme *la caisse du tympan,* dans le quel se trouve un mécanisme bien singulier, composé principalement de trois petits corps osseux, nommés *les osselets.* Le dessin de ces osselets, que j'ai l'honneur de vous présenter, (fig. 64, a) vous offre ce mécanisme dans sa grandeur naturelle. La ligne ecf représente la coupe de la membrane du tympan dans la direction fce de la fig. 63. Le premier osselet afb, qu'on nomme *le marteau* est attaché par son manche af à la membrane du tympan précisément dans cette position. Sa tête est fixée en b dans une petite cavité pratiquée à la surface intérieure de la caisse, en sorte cependant qu'il puisse se mouvoir un peu dans ce petit creux. Sa position naturelle est telle que le manche opère une tension continuelle dans la membrane du tympau et lui donne la forme conique.

Le second osselet iond et qui s'appelle *l'enclume* est fixé par son côté nd à la paroi de la caisse et par son côté on à la tête du marteau, en sorte qu'à quelques égards il fait corps avec le marteau et est tant soit peu mobile comme le marteau lui-même.

Le troisième osselet g a précisément la forme d'un *étrier* et en porte le nom. Comme dans cette figure il

est vu de côté, je l'ai dessiné de face dans la figure 65. Sa partie supérieure est une plaque ovale. Cet osselet est attaché par son bout inférieur au bout de la corne i de l'enclume. Un petit os i de figure de lentille, à peine visible à la vue simple, se trouve placé entre deux, enveloppé de membranes très fines qui forment au point i une espèce de charnière.

Mr. de L. Où cela nous mènera-t-il?

Mr. de P. Je ne le sais pas trop moi-même. Mais au moins je vous dirai où l'on croit que cela nous mène. Quant à la caisse du timpan j'observe encore qu'elle a communication avec le fond de la bouche par un canal qui s'élargit du côté du palais et qu'on nomme la *trompette d'Eustache*.

Au dessus de la caisse du tympan se trouve un organe tout particulier, creux dans toutes ses parties, (fig. 65) qu'on nomme *le labyrinthe* et qui est composé de deux parties principales, du *vestibule* A et du *limaçon* B. Ces deux espaces communiquent ensemble, de sorte que proprement le limaçon est une continuation du vestibule.

Le vestibule se termine de l'autre côté par trois tuyaux osseux demicirculaires, dont deux, b et o se joignent en e pour entrer conjointement par une seule ouverture dans l'espace principal du vestibule, de sorte que cet espace ne communique avec ces trois tuyaux que par 5 ouvertures au lieu de six qu'il devroit avoir si chaque tuyau avoit ses deux orifices à part. Le vestibule a un trou a nommé *la fenêtre ovale*, sur lequel s'applique la plaque de l'étrier g (fig. 64) et la ferme complettement au moyen d'une membrane très mince

qui en fait le tour et qui est fixée par un de ses bords à la fenêtre et par l'autre à la plaque de l'étrier. Ainsi il faut se représenter le labyrinthe en entier placé au dessus de la caisse du tambour, dans une situation renversée, en sorte que la fenêtre et la plaque de l'étrier aboutissent l'une à l'autre.

Le limaçon a précisément la figure d'une petite coquille d'escargot. Le canal hélice qu'elle forme se retrécit de plus en plus en avançant vers le sommet et fait deux tours et demi. A l'intérieur de ce canal et sur toute sa longueur se trouve une lame, nommée *lame spirale*, fixée à angles droits sur le côté intérieur, en sorte que le canal hélice se trouve partagé sur toute sa longueur en deux espaces qu'on appelle *rampes*. La lame spirale n'occupe pas toute la largeur du canal, mais seulement un peu plus que la moitié, en sorte que les deux rampes communiquent partout entre elles. La figure 66 représente une coupe quelconque du limaçon pour faire voir la position de la lame spirale; et la figure 67 représente une coupe horizontale où l'on voit à plat une portion abedca de cette même lame; be est la paroi intérieure du limaçon, fg sa paroi extérieure.

La lame spirale est osseuse à sa base et se termine en une bande membraneuse ou plutôt nerveuse. La construction du limaçon prouve que la lame spirale diminue toujours de largeur à mesure qu'elle s'avance vers le sommet, et que, si on l'étendoit en ligne droite, elle auroit la figure d'un triangle très étroit (fig. 68).

Le Labyrinte a au côté opposé une seconde ouver-

ture nommée *la fenêtre ronde* et d'autres très petites qui servent de passage à des branches du *nerf auditif* qui doit transmettre au cerveau l'effet des vibrations de l'organe de l'ouïe. Mais la fenêtre ronde est fermée entièrement par une membrane, et les nerfs remplissent totalement les petits trous qui leur servent de passage, en sorte que le labyrinthe entier nous offre une cavité singulièrement construite et fermée de tous côtés.

Enfin j'observe que la plupart des Anatomistes d'aujourd'hui assurent que le labyrinthe est rempli d'un liquide aqueux. J'en ai connu un qui m'a assuré n'avoir jamais trouvé qu'une très petite goutte de liquide dans cet organe et trouve dans ses observations la confirmation de l'ancienne opinion, que le labyrinthe est plein d'air.

Mr. de R. Voilà un mécanisme extrêmement compliqué! Pourrons-nous en comprendre les fonctions?

Mr. de P. Voyons. Au moins nous aurons bien des doutes. Commençons par les parties extérieures de cet admirable organe.

On considère la partie concave de l'oreille extérieure, la conque, qui aboutit au conduit auditif, comme un instrument à réflexion qui reçoit beaucoup de rayons sonores et les concentre dans le conduit auditif. On appuie cette opinion sur la considération de l'oreille extérieure des quadrupèdes qui a précisément la figure d'un cornet. Mais j'avoue que je doute de la justesse de cette preuve, d'abord par ce que la courbure de la conque ne me paroît pas de nature à faire cet ef-

fet, puis par ce que plusieurs personnes qui ont l'oreille fine et qui sont même musiciennes, ont une conformation d'oreille contraire; leur conque est tournée en dehors. Il me semble que, cette partie de l'oreille étant cartilagineuse, elle sert uniquement d'apui aux sons pour entretenir autour de l'entrée du conduit auditif une élasticité rehaussée dans l'air qui l'environne immédiatement, aussi longtems qu'il est en vibration. En général la Nature nous indique par la grande variété des formes de cette partie de l'organe de l'ouïe humaine que ces formes ne sont pas déterminées uniquement par desprincipes acoustiques. Elle observe au contraire la plus grande régularité dans la conformation des organes internes.

Le conduit auditif semble, en sa qualité de tuyau, devoir renforcer les sons. Mais comme il est très court et en outre courbé et tapissé à son intérieur d'une membrane qui, dans la jeunesse du sujet, suinte une humeur visqueuse et dans la vieillesse se tapisse de poils, il est clair que la Nature à eu, au moins ici, plus d'égard à la clarté des sons qu'à leur intensité. Pourquoi en général vouloir chercher dans notre organe des moyens d'augmenter le son? La force qu'il doit avoir ne peut être que proportionnée à la délicatesse de l'organe lui-même?

Le système des deux premiers osselets de la caisse du tympan, le système du marteau et de l'enclume, nous offre un levier coudé au quel la force est appliquée en c, au centre de la membrane du tympan, dont le point d'apui est en b, et dont les deux bras af, bi, sont à-peu-près égaux. L'étrier g n'est autre chose

qu'un manche qui porte la plaque ovale qui ferme la fenêtre ovale du labyrinthe; et comme cette plaque est susceptible d'un peu de mouvement, nous nous représentons la fonction des osselets de la manière suivante: La membrane *ecf* du tympan, tendue par le manche du marteau, reçoit les vibrations que l'air lui communique dans le conduit auditif; ces vibrations se communiquent au bout *i* de la corne de l'enclume et de là, par la charnière en *i* et par l'étrier, à la plaque ovale, qui parconséquent doit faire des vibrations et en quelque sorte jouer l'instrument que nous nommons labyrinthe. Mais l'observation des dimensions de notre levier coudé nous prouvant que les vibrations de la plaque de l'étrièr doivent avoir précisément la même vitesse et la même fréquence que celles de la membrane du tympan, on demande avec raison: A quoi sert ce mécanisme compliqué et une simple barre osseuse, fixée d'un bout au milieu *c* de la membrane du tympan et de l'autre à la plaque de l'étrier, ne produirait-elle pas le même effet? Cela nous paroît ainsi. Mais la Nature a peut-être voulu, au moyen de la double charnière en *no* et en *i*, exécuter ces vibrations avec plus de liberté et rendre possibles des variations qui sans cela n'auroient pas lieu. Ce qu'il y a de sûr, c'est que des personnes dans l'oreille des des quelles tout ce mécanisme est détruit ou au moins dérangé, n'en deviennent pas sourdes pour cela. L'air de la caisse du tympan, qui communique à l'extérieur, soit par la trompe d'Eustache, soit par le conduit auditif, lorsque la membrane du tympan est détruite ou percée, suffit pour mettre la plaque ovale en vibration, pourvu qu'el-

cinq cents instrumens se font entendre à la fois et variant leurs sons cadancés dans un désordre merveilleusement ordonné, peignent à l'oreille le cahos qui précéda l'acte de la création et ce mouvement immense de l'Univers où tout commença à s'arranger pour établir l'ordre de choses que nous admirons depuis tant de siècles. — Faites vous, s'il est possible, une idée de toutes ces vibrations de l'air dont la salle rétentit, de la prodigieuse variété dans ces vibrations dont chacune est analogue à celle de chacun des cinq cents instrumens qui se font entendre, et cherchons à résoudre la question: Comment l'air peut-il propager tous ces sons?

Mr. de G. Le problème ne sera pas facile à résoudre.

Mr. de P. Il n'a jamais été résolu en entier. Décomposons le pour voir le peu que nous savons sur cet objet.

Commençons d'abord par bien nous assurer que c'est à l'air atmosphérique que nous devons ces effets. Plaçons un carillon sous la cloche de la pompe pneumatique, appuié sur des supports très peu élastiques et faisons le vide. A mesure que nous raréfions l'air le son diminue de force, et quand le vide est aussi parfait que la pompe le permet, on n'entend presque plus le son. Si au contraire on condense l'air au lieu de le dilater, le son gagne en intensité. On retrouve un effet analogue sur les hautes montagnes; Saussure a tiré sur le sommet du Montblanc un coup de pistolet, et l'effet affoibli a répondu au degré de raréfaction de l'air.

Le jeune de L. Ainsi les sons, sont en quelque sorte en raison de la densité de l'air.

Mr. de P. Cela paroit ainsi, mais cela n'est pas. Ce n'est pas proprement la densité de l'air qui fixe la force des sons, mais son degré d'élasticité. Nous nous en assurons en plaçant le carillon sous une cloche de verre bien fermée par ses bords après y avoir introduit un fer rouge dont la chaleur augmente l'élasticité de l'air enfermé et qui ne peut pas se dilater parce qu'il ne peut pas s'échapper. Le son est sensiblement plus fort que dans l'air dont l'élasticité n'a pas été augmentée par la chaleur.

Mr. de R. La preuve est sans réplique. Mais comment l'air transmet-il les sons?

Mr. de P. De la même manière qu'ils se forment, par des vibrations, et nous pouvons nous former une idée assez juste de ce mécanisme. Représentez vous une corde de violon qui fait ses vibrations. La couche d'air qui la touche immédiatement en reçoit des chocs d'autant plus violents que les vibrations se font avec plus de vitesse. Cette masse d'air, quelque petite qu'elle soit, résiste de toute son inertie au mouvement progressif que la corde tend à lui imprimer, d'autant plus qu'elle s'appuie sur les couches prochaines. Cette résistance produit une condensation à laquelle succède une dilatation dès que la corde se porte de l'autre côté. Cette dilatation s'exerce dans les deux sens opposés et produit une percussion de la couche d'air voisine qui résiste à son tour en vertu de son inertie, se condense et se dilate comme la 1

Cet effet se répète sur la troisième couche, puis sur la quatrième et les suivantes.

Mr. de G. Je conçois cela, et que parconséquent le son n'est pas un mouvement progressif de l'air.

Mr. de P. Fort juste. Aussi n'aperçoit-on pas le moindre vent dans une salle de Musique. Ce mouvement de vibration se communique donc dans l'atmosphère de couche en couche à une distance indéterminée; et comme l'air est parfaitement élastique, ces vibrations se propageroient sans déchet de force à toutes les distances si, à partir du corps qui produit les vibrations, la masse d'air qui doit vibrer n'augmentoit pas très considérablement.

Le Comte C. A-t-on découvert une loi de la diminution du son par les distances?

Mr. de P. On en suppose une, la loi de l'inverse du carré des distances; c. à. d. qu'à une distance double ou triple de son origine le son n'a que le quart ou le neuvième de sa force primitive. Mais je doute de la vérité de cette loi, qui n'a pas été prouvée par des expériences directes et qui me semble pêcher en théorie.

Au reste une chose bien remarquable, c'est que les sons, quelque affoiblissement qu'ils éprouvent par les distances, restent toujours les mêmes quant à l'espèce. A dix pieds ou à cent pieds de distance du corps sonore le ton est parfaitement le même, seulement plus fort ou plus foible. Cette observation prouve que la nature des tons ne consiste pas dans la vîtesse absolue avec laquelle chaque vibration a lieu, mais dans la fréquence des vibrations.

Mr. de T. J'avoue que je ne comprends pas le pourquoi.

Mr. de P. Supposons, pour simplifier la chose, que le son provienne d'une cloche et que les couches d'air mises en vibration soient toutes d'égale épaisseur; il est clair que les couches d'air à mettre en vibration seront des enveloppes sphériques dont les masses sont en raison de leurs surfaces, et parconséquent en raison des carrés des rayons ou de leur distance au centre de la cloche. Ces rayons des enveloppes sphériques d'air, en tant qu'ils indiquent les directions sur lesquelles le son se propage, s'appellent *rayons sonores*. Les vibrations de chacune de ces enveloppes sphériques doivent donc se communiquer à une plus grande masse. Or comme une quantité quelconque de mouvement ne peut pas être plus grande dans l'effet que dans la cause, il s'en suit que, les masses augmentant, les vitesses doivent diminuer. Ainsi, si la hauteur du ton dépendoit de la vitesse absolue de la vibration, le ton changeroit avec la distance. Or comme cela n'arrive pas, nous devons admettre que les tons aigus ou graves dépendent, non de la vitesse absolue de chaque vibration mais du nombre de vibrations exécutées dans un tems donné. Ainsi une seule vibration ne forme pas le ton, mais il faut une suite de vibrations dont les coups répétés sur notre organe produisent la sensation que nous nommons un ton. Et cela suppose que ces vibrations se répètent si subitement que nous ne pouvons pas distinguer l'impression de chacune d'elles; ce qui explique pourquoi nous n'avons pas de tons graves qui aient moins d'un certain nombre de vibrations.

Mr. de T. Voilà des conclusions bien intéressantes.

Mr. de P. Je puis en ajouter une nouvelle. La même théorie explique pourquoi la force des sons dépend de la grandeur l'instrument, pourquoi, par ex. une grosse corde peut produire le même ton mais plus énergique qu'une corde plus mince. La grosse corde attaque d'abord une plus grande surface d'air à raison de son plus grand diamètre; et en second lieu, si elle doit rendre le même ton que la mince, elle doit, à tensions égales, être proportionellement plus longue. Ainsi les masses d'air que ces deux cordes mettent immédiatement en vibration sont en raison du carré des diamètres des cordes. Une loi semblable doit avoir lieu pour les cloches et les instrumens-à-vent.

Mr. de R. Mais il me semble, Monsieur *de P.*, que nous savons beaucoup plus de choses sur la nature des sons que vous ne nous l'aviez fait espérer.

Mr. de P. Retournons à la salle de Musique et écoutons l'ouverture de la création de Haydn. Représentez vous tout le tintamarre de ces centaines d'instrumens qui ont presque chacun leur propre ton qui a son nombre de vibrations à lui, et en outre souvent son timbre particulier, et tentez d'expliquer comment l'air de la salle peut recevoir et propager à la fois cette énorme variétés de sons. Le problème est double. D'abord il s'agit de savoir comment des tons différents peuvent se croiser dans l'air sans se mêler, comment des vibrations qui ont lieu en même tems peuvent s'exécuter dans la même masse d'air avec des vitesses et des fréquences différentes. En vain l'on

a épuisé les finesses de la Mécanique, secondée de la Geométrie et du calcul, pour expliquer ce phénomène. Le théorême même du parallélogramme des forces n'y peut rien.

Mr. de L. Pour le coup je déclare le fait inexplicable; car j'espérois encore que le grand magicien nous tireroit d'affaire et que monsieur *de P.* ne nous présentoit la difficulté de la chose que pour relever par un coup de théatre le mérite du théorême.

Mr. de P. J'avois imaginé un autre coup de théatre, qui consistoit à nier que nous entendissions plusieurs tons à la fois et à admettre que différents tons se succèdent si subitement que nous les croyons simultanés. Je vous ferai connoître par la suite des phénomènes où cela a réellement lieu. Mais j'avoue que cette explication me paroît à présent peu soutenable, et qu'il est bien moins facile de dénouer ce noeud gordien que de le trancher.

Le second problème, l'explication du timbre, de cette qualité particulière de chaque ton, produite par chaque espèce d'instrument, est encore plus incompréhensible. Quant à l'origine de chaque son, nous pouvons supposer que la nature de l'instrument peut ou doit avoir quelque influence sur la nature du son. Mais que pouvons-nous imaginer pour propager dans le même milieu, dans le même air, les propriétés particulières des sons du violon, de la trompette, de l'harmonica? En quoi consistent ces différences spécifiques des tons dans leur propagation? Comment la Nature s'y prend-elle pour produire ces variations dans les vibrations du même air?

Tout ce qu'on a imaginé pour résoudre ces deux problèmes répugne à la saine Physique et nous faisons mieux de prendre le sage parti d'avouer bonnement notre ignorance.

Mde. de L. Ramenez nous, monsieur *de P.*, bien vite à ce que nous savons.

Mr. de P. Volontiers, Madame; mais ce ne sera pas pour longtems. La vitesse, avec laquelle le son se propage, est un de ces objets que nous connoissons mieux. Des expériences faites avec beaucoup de soin surtout par La Caille, nous ont appris que le son parcourt 1038 pieds de france en une seconde.

Mr. de R. Cette vitesse me paroîtroit prodigieuse si vous ne nous aviez pas déjà étonné bien davantage par la vitesse des molécules chimiques. Mais comment a-t-on mesuré cette vitesse?

Mr. de P. Deux observateurs, munis de bonnes montres à secondes, se sont placés à une grande distance l'un de l'autre, par ex. de quelques mille toises. On a tiré un coup de canon à une des deux extrémités tandis que l'autre observateur observoit la lumière du canon et le tems qui s'écouloit jusqu'à l'arrivée du son; l'espace divisé par le nombre des secondes a donné la vitesse énoncée. On a repété cette expérience sur des distances différentes et sous diverses conditions.

Mr. de T. Ce calcul supposé qu'on compte pour rien le tems que la lumière du coup de canon employe pour parcourir la distance donnée.

Mr. de P. Et avec raison, ce tems étant si court pour ces distances qu'il est impossible de l'observer et bien inutile d'en tenir compte.

Mr. de T. Cette vitesse de 1038 pieds est-elle constamment la même?

Mr. de P. Oui, pour les sons forts et faibles, par le beau comme par le mauvais temps. Le vent seul peut la changer; il l'augmente de toute sa vitesse quand il souffle dans la direction du son entre les deux observateurs, et la diminue de toute sa vitesse quand il souffle dans une direction opposée. Lorsqu'il souffle à angles droits il ne change pas la vitesse du son.

Newton a essayé longtems avant les expériences, de fixer par la théorie seule la vitesse du son, et son calcul lui a fourni une vitesse de 906 pieds, qui diffère d'un huitième de la vitesse observée. Le célèbre La Place a imaginé un moyen de concilier les résultats de la théorie et de l'expérience; moyen que je vous ferai connoître lorsque nous traiterons des phénomènes de la chaleur.

Nous avons examiné la propagation des sons dans l'air atmosphérique. Voyons si cette propagation a lieu dans d'autres milieux et commençons par les autres gaz. Un Physicien françois, nommé Pérolle, nous a donné, les experiences suivantes:

Après avoir placé sa montre sous une cloche remplie successivement de différents gaz, il s'éloignait de la cloche jusqu'à ce qu'il cessât d'entendre le tic-tac de la montre. Les résultats ont indiqué des distances très différentes les unes des autres, nommément 56½ pieds pour l'air atmosphérique, 48½ pour le gas acide carbonique, 63 pour le gas oxygène, 11 pour le gas hydrogène. Et ces distances ne sont point en raison

de la densité ou de l'élasticité spécifique de ces gaz; ce qui prouve que la faculté de propager le son plus ou moins fortement est une propriété spécifique de chaque gaz.

L'eau, ce fluide liquide, qui a si peu de compressibilité, ou peut-être point du tout par lui-même, propage le son avec beaucoup plus de facilité que l'air; il en est de même de l'esprit de vin et de l'huile d'olives. Le tic-tac de la montre de Pérolle ne s'entendoit plus au travers de l'eau à une distance plus que triple, au travers de l'esprit de vin à une distance plus que deux fois et demie aussi grande, et au travers de l'huile d'olives à une distance double de celle à laquelle il cessoit d'être entendu au travers de l'air.

Il suit de ces expériences que l'air est un des plus foibles conducteurs du son, et les expériences faites avec des corps solides prouvent que ces corps surpassent également l'air atmosphérique à cet égard.

Nous avons même des expériences sur la vitesse du son propagé par des corps solides. Les meilleures sont celles de Biot, que ce célèbre Savant a faites sur une suite de tuyaux de fer fondu, longue de près de 3000 pieds. La matière de ces tuyaux propageoit le son dix fois et demie plus vite que l'air. Et comme chacun de ces tuyaux étoit séparé de son voisin par des rondelles de plomb et de cuir gras pour rendre le tout imperméable à l'eau, et que ces rondelles n'avoient que peu d'élasticité, il est clair qu'elles occasionnoient une perte de vitesse et que parconséquent le fer fondu seul eut propagé le son avec plus de célérité.

Mr. de G. Mais quelle peut être la raison que la

Nature a eue de donner à l'air moins de force conductrice pour le son qu'à presque tous les autres corps, l'air étant le milieu proprement destiné à la propagation du són?

Mr. de P. Imaginez que l'air atmosphérique propageât le son aussi fortement que l'eau ou le fer fondu, c'est-à-dire 10 à 20 fois plus fortement qu'il ne le fait, nos oreilles supporteroient-elles ces violentes impressions? Et à coup sur nous serions moins en état de distinguer la finesse des sons. Au contraire je trouve l'ouvrage du Créateur admirable à cet égard. Les sons nous parviennent à des distances assez considérables et en même tems notre sens de l'ouïe est assez délicat pour distinguer des milliers, peut-être des millions, de nuances dans les sons, nuances que le calcul est bien loin de pouvoir atteindre. Passez en revue un régiment de soldats, faites parler chacun de ces deux mille hommes et vous trouverez que chacun d'eux a une modulation de voix particulière que vous distinguerez parfaitement. Votre ami absent depuis des années arrive-t-il sans être attendu? Avant que vous l'ayez vu vous reconnoissez sa voix, cette voix chérie qui vous le fait distinguer parmi tant d'êtres indifférents qui vous entourent chaque jour. Cela vaut bien, je pense, le plaisir futile d'entendre jaser quelqu'on à 500 toises de distance ou au travers des cloisons de plusieurs chambres.

Plaçons un carillon ou un timbre d'horlogerie sur une table et observons en bien la force du son. Puis couvrons le d'une cloche de verre. La force du son est diminuée de plus de moitié. Une seconde cloche

pardessus la première produit une nouvelle diminution; une troisième, quatrième, de même, et à la cinquième le carillon n'est presque plus entendu. D'où vient cette diminution, le verre étant un corps solide, le plus élastique de tous, et parconséquent capable de propager le son beaucoup mieux que l'air? On a cru que, le verre étant à peu près 2000 fois plus dense que l'air, les vibrations de l'air intérieur ne peuvent exciter dans le verre que des vibrátions 2000 fois plus foibles qu'elles-mêmes et que c'étoit là la cause de cet affoiblissement du son. Mais cette explication n'est pas juste, par ce principe que quiconque prouve trop ne prouve rien. Car si l'explication étoit vraie la première cloche ne transmettroit que $\frac{1}{2000}$ du son du carillon, c. à. d. environ mille fois moins qu'elle n'en transmet. En outre cette vibration du verre, deux mille fois plus foible que celle de l'air intérieur, doit se communiquer à l'air extérieur qui est également 2000 fois moins dense que le verre. Donc la vibration du verre suffira pour produire dans l'air extérieur une vibration aussi forte que celle de l'air intérieur de la cloche. Ainsi l'on devroit entendre le son au travers de la cloche aussi bien que sans la cloche. Nous avons un fait analogue dans le choc des corps élastiques. Supposez trois balles parfaitement élastiques suspendues l'une près de l'autre, les trois en ligne droite, et celle du milieu ayant, si vous le voulez, 2000 fois plus de masse que chacune des deux autres. Si l'on fait choquer une des petites balles sur la grande, celle-ci restera en place et la troisième partira avec la même vitesse que si elle avoit été choquée immédiatement par

la première ou bien comme si celle du milieu n'avoit eu que la même masse que la première et la troisième.

Mr. de T. Cela est clair. Mais je ne conçois plus le phénomène de la diminution du son par la cloche de verre.

Mr. de P. A dire vrai je ne le conçois pas trop non plus. Mais je tire de ce phénomène et de plusieurs autres analogues une loi particulière qui est, que lorsque le son doit se transmettre au travers de plusieurs milieux hétérogènes, sa force s'affoiblit considérablement ; ou, pour m'exprimer très briévement: *L'hétérogénéité des milieux affoiblit la propagation du son.*

Mr. de T. Quelle peut être la raison de cet affoiblissement si tous les milieux sont par eux-mêmes au moins d'aussi bons conducteurs du son que l'air?

Mr. de P. Si nous connoissions bien la nature des vibrations de tous les corps sonores, nous pourrions peut-être expliquer la chose. Car il est certain, d'après tout ce que nous savons de ces vibrations, qu'elles ont pour chaque corps sonore quelque chose de particulier; et comme nous ne pouvons imaginer aucune différence dans deux mouvemens que rélativement à la force qui le produit et à la direction qu'il a, et que dans le cas en question la force n'y entre pour rien, nous devons présumer que ces petits mouvemens ont une direction particulière pour chaque espèce de corps, différente de celle de tous les autres et que par-conséquent les directions de ces petits mouvemens d'un corps sonore à un autre seront obliques l'une à l'égard de l'autre. Or . . . .

Mr. de L. Arrêtez un moment, monsieur *de P.*, pour prévenir votre auditoire de l'arrivée du grand sorcier de la Mécanique!

Mr. de P. (riant) Assurément, le théorème du parallélogramme des forces est en marche. Je dis donc que dans tous les cas où deux masses agissent l'une sur l'autre en directions obliques, le théorème du parallélogramme des forces nous prouve qu'un déchet de force ou de mouvement doit absolument avoir lieu.

Mr. de L. Voilà la théorie construite, la difficulté levée, le paradoxe expliqué! Votre baguette magique ne vous laisse jamais dans l'embarras.

Mr. de P. Je désirerois fort que vous eussiez raison. Malheureusement cette explication n'est qu'une hypothèse, par ce que nous ne savons rien des directions de ces mouvemens des particules des corps sonores, l'expérience et le calcul nous laissant dans une obscurité complette à cet égard.

Mais ce qui m'embarasse le plus, c'est que j'ai observé que le ton du carillon baisse de plus en plus à mesure qu'on augmente le nombre des cloches dont on se sert dans nos expériences. Deux musiciens, que je consultai alors que je les fis, m'ont assuré qu'à la quatrième cloche le son est d'un ton entier plus grave.

Passons à présent à la *propagation du son par réflexion.* Lorsqu'un mur ou une paroi quelconque arrête la suite des vibrations de l'air, ces vibrations doivent se renouveller en sens contraire comme nous avons vu qu'une balle élastique, tombant sur un plan dur, rebondit et nous offre le phénomène du mouvement réfléchi. Ce retour des vibrations de l'air produit un

nouveau son que l'on nomme *l'écho*, et si ce nouveau son se trouve arrêté par une ou plusieurs autres parois disposées de manière à recevoir le son l'une de l'autre, il se répétera autant de fois, mais toujours plus foiblement, jusqu'à ce qu'enfin le son n'étant plus sensible, il nous rappelle celui d'une voix mourante.

Mr. de R. Malheureuse Echo! Victime de la jalousie de Junon!

Mr. de L. Avouez que le supplice horrible de cette Nymphe ne peut avoir été imaginé que par une femme implacable, et qu'Ovide, qui en attribue l'invention à la Reine de l'Olympe, connoissoit bien les femmes.

Mr. de R. Méchant! Pourquoi vous ai-je donné occasion de faire ce sarcasme?

Mr. de L. Je plains comme vous cette pauvre Nymphe Vocalis (Jaseuse) qui, pour avoir endormi par son babillage la vigilance de Junon tandis que son auguste époux couroit après les nymphes de l'Hélicon, se trouve condamnée (Ciel! quel tourment!) à ne jamais parler la première et à ne pouvoir que répéter les derniers mots que d'autres prononcent. Je la plains vous dis-je; mais j'admire la sublime cruauté de Junon qui sut si bien choisir sa vengeance et, pour surcroit de méchanceté, lui faire trouver le beau et insensible Narcisse qui la fuit, effrayé de n'entendre répéter que ses propres paroles. Mais ce n'est pas tout: La Nymphe, dévorée d'amour, se consume, se dessèche; ses ossemens se changent en rochers et en arbres pour être chargés à l'avenir de la triste fonction que l'implacable Déesse a imposée à la Nymphe. Convenez que ce suppli-

ce, perpétué dans tous les échos des bois et des rochers, est la plus belle idée de toute la Mythologie grecque!

Mr. de R. Assurément, et je me réjouis cette invention, puisque vous participez à la punition de la Nymphe en vous faisant vous-même l'écho du perfide Poëte.

Mr. de P. Paix, monsieur *de R.*, et laissons à la Physique le soin de réfuter le Poëte et le Général par la théorie de la réflexion des sons. Cette réflexion s'exécute régulièrement dans des salles ou des voûtes de forme elliptique, où la personne qui parle se place à l'un des foyers et celle qui écoute à l'autre. Celle-ci entend à une grande distance les moindres sons de l'autre, par ce que toutes les vibrations, qui partent de l'un des foyers et arrivent à la circonférence, se réfléchissent vers l'autre foyer.

Mr. de T. Je conçois que la Géométrie explique les échos artificiels. Mais je ne comprends pas le mécanisme de l'écho d'une montagne; car si je me trouve dans une vallée et que je parle du côté de la montagne, il me semble que la réflexion du son devroit se perdre dans les régions élevées de l'air et non redescendre vers mon oreille.

Mr. de P. Votre objection seroit parfaitement juste et fondée sur la loi du mouvement réfléchi qui, lorsque le plan frappé est incliné, ne ramène jamais la balle au point d'où elle est partie. Mais nous ne pouvons pas admettre que la surface d'une montagne soit un plan géométrique; elle est un composé d'une infinité de petits plans inclinés presque en tous sens, dont chacun renvoie la vibration qu'il reçoit suivant la loi

de réflexion. Doù il s'en suit que le son doit être réfléchi en tous sens par la surface inégale d'une montagne. Ce qui explique pourquoi cet écho s'entend presque partout, mais très foiblement en comparaison du son direct, et d'une manière toujours moins distincte.

Le jeune de L. D'où vient que, si chaque paroi doit produire un écho, nous n'en avons pas dans nos chambres?

Mr. de P. Nous en avons dans de très grandes salles, et des salles de moyenne grandeur occasionnent un bourdonnement qui est un commencement d'écho. Il suit de là que pour produire l'écho il faut un certain espace entre la paroi qui renvoie le son et la personne qui écoute ou qui parle.

Le jeune de L. Mais pourquoi faut-il un certain espace et pourquoi n'entend-on pas l'écho à dix pieds d'une muraille?

Mr. de P. Dites moi, mon cher, combien de sons successifs vous pouvez distinguer dans le tems d'une seconde.

Le jeune de L. Je n'y ai jamais songé.

Mr. de P. Neuf, si vous avez l'oreille très fine, et sept, si votre oreille n'est pas formée par la musique. Prenons le nombre huit comme nombre moyen. Quand pourrez-vous donc distinguer l'écho de la voix directe?

Le jeune de L. Lorsque le tems nécessaire au son pour aller de ma bouche à la paroi et revenir de la paroi à mon oreille, ne sera que ⅛ de seconde,

Mr. de P. Fort bien. Dites moi à présent quel espace le son parcourt dans un huitième de seconde.

Le jeune de L. 1038 pieds dans une seconde, ainsi près de 130 pieds dans un huitième. . . . . Ah! je comprends. Ces 130 pieds font ensemble l'aller et le venir du son; Ainsi la distance de laquelle on peut entendre l'écho de sa propre voix doit être au moins la moitié, c. à. d. 65 pieds.

Mr. de P. Vous y voilà, et vous concevez à-présent que dans une chambre ordinaire l'écho doit se confondre parfaitement avec le son directe et que dans une salle de 50 à 60 pieds de longueur on ne peut entendre que très peu de l'écho; ce n'est proprement que le son doublement réfléchi et parconséquent très affoibli et nullement distinct. Vous jugerez en outre qu'il est fort heureux pour nous tous que la vitesse du son ne soit pas dix ou vingt fois plus grande qu'elle n'est. Car alors on entendroit distinctement l'écho de chaque parole à six ou à trois pieds de distance et nous serions obligés de nous renfermer dans des chambres d'un aussi petit diamètre pour pouvoir parler distinctement.

On a des échos très curieux. Tel est celui près de Verdun produit par deux grandes tours carrées distantes entre elles de 156 pieds. Un mot prononcé entre ces deux tours se répète douze à treize fois. Celui du château de Simonetta, produit par quatre murs élevés, répète jusqu'à 40 fois une syllabe prononcée à une certaine fenêtre. Ces répétitions vont proprement à l'infini, mais comme elles deviennent par les raisons alléguées de plus en plus foibles, on finit par ne plus les

entendre. L'écho près du tombeau de Metella à Rome répète le premier vers de l'Enéide ou tout autre hexamètre jusqu'à 8 fois. La maison de campagne de Génétay près de Rouen, combinée avec le mur demi-circulaire de la cour, produit un écho très remarquable; lorsqu'une personne marche en chantant de la porte de la maison vers la porte de la cour, elle n'entend que sa voix naturelle, tandis que d'autres personnes, placées à d'autres endroits de la cour, entendent l'écho de la chanson, mais avec des variations.

Retournons pour un moment à notre salle de Musique, à l'ouverture de la création de Haydn, et considérons le nombre inconcevable de rayons sonores qui se croisent dans l'atmosphère de cette salle, et non seulement les rayons directs, comme nous l'avons déja fait, mais aussi les rayons réflêchis plusieurs fois par les murs, qui, quoique non sensibles à l'oreille, n'en existent pas moins, et concevons, s'il est possible, la régularité avec laquelle cette masse de sons se propage!

Mr. de T. Cela surpasse toute imagination et l'air atmosphérique qui transmet à notre oreille tant de mouvemens divers et en exécute tant d'autres que nous n'apercevons pas, me paroit être la plus sublime des machines.

Mr. de P. Terminons notre entretien par la considération d'une nouvelle espèce de propagation du son. Lorsque les vibrations de l'air, correspondantes à un certain ton, rencontrent un corps solide, par ex. une corde tendue, une cloche de verre, accordé à l'unisson du ton donné, ce corps se met lui-même en

vibration et fait entendre son propre son qui se mêle à celui du premier. Ce phénomène est connu sous le nom de *résonnance*. C'est ainsi qu'on fait résonner un gobelet de verre en produisant le ton de ce gobelet sur un autre instrument, et l'on a des exemples de personnes qui ont produit avec leur voix des commotions si fortes que le gobelet s'est cassé. On a des violons munis d'un double assemblage de cordes, dont les supérieures sont des cordes de violon ordinaire et les inférieures des cordes de métal, dont chacune est à l'unisson de sa corde supérieure. Ce son double a quelque chose de doux et d'agréable.

L'effet des tables de résonnance de tous les instrumens à cordes doit être jugé d'après ce principe. Ces tables composées de fibres parallèles (raison pour laquelle on choisit le bois de sapin le plus égal possible) ont des figures irrégulières ou au moins telles que la longueur des fibres soit très inégale; et quand on leur donne par d'autres raisons une figure de parallélogramme, on y applique un chevalet courbe, ou bien droit, mais placé de biais, pour obtenir cette inégalité, la partie extérieure se trouvant par là exclue de l'action de la table de résonnance.

Cette table se trouve composée par là d'un grand nombre de corps sonores capables de résonnance et de différentes longueurs, parmi les quels il s'en trouve toujours un ou plusieurs à l'unisson de chaque ton que l'instrument doit fournir. Et lorsque la figure de toute la table ne suffit pas à cette variété, alors on la perce encore d'un ou de plusieurs trous de figures régulières ou irrégulières. Cette idée de l'effet des tables de ré-

sonnance n'est pas une pure hypothèse; je m'en suis bien assuré par des expériences que j'ai fait faire en ma présence par un habile Musicien sur un forte-piano. En touchant la table de résonnance avec le doigt à un certain point, le son d'une certaine note se trouvoit affoibli d'une manière très sensible, mais pas celui d'autres notes, que l'on affoiblissoit à leur tour en touchant cette table à d'autres points.

La résonnance sert non seulement à donner plus de force, en quelque sorte plus de corps, aux tons; mais aussi elle forme des passages de chaque ton à son suivant, qui lient tous les tons et leur donnent plus d'harmonie. Ces considérations sur les tables de résonnance justifient la figure baroque des violons et autres instrumens de cette espèce.

Trente et unième entretien.

Mr. *de P.* Nous avons terminé notre dernier entretien par la considération des tables de résonnance et nous avons expliqué leur effet, celui de renforcer le son, en les regardant comme des assemblages de fibres élastiques de différentes longueurs dont chacune est censée être à l'unisson d'un certain ton. Mais elles renforcent le son encore d'une autre manière, en ce qu'elles renferment un espace plein d'air limité de tous côtés par les autres parois de l'instrument. Cet air renfermé reçoit les vibrations de la table de résonnance, se met lui-même en vibration et propage le son à l'extérieur par une ou deux ouvertures qu'on a ménagées à cet effet.

Cette considération nous conduit à examiner comment une portion d'air circonscrite dans certaines limites peut renforcer le son, effet dont nous avons tant d'exemples dans les instrumens-à-vent.

Commencons par un simple tuyau ABED (fig. 60) de quelques pouces de diamètre et d'une longueur indéterminée. Supposons qu'au milieu C de son ouverture AB il se forme un son et considérons deux rayons sonores Ca, Ci faisant le même angle avec l'axe du tuyau.

Ces deux rayons seront réflêchis à angles égaux en a et i par les parois du tuyau qu'ils atteindront de nouveau en e et h pour être réflêchis une seconde fois, puis une troisième, une quatrième fois, jusqu'à ce qu'enfin ils se croisent en g hors du tuyau et se propagent de là dans l'air à des distances illimitées. Il est clair que l'angle g étant le même que l'angle a c i, si notre oreille se trouve placée en l à une distance quelconque du tuyau, elle recevra les vibrations sonores comme si elles venoient du point g et non du point C. Ainsi nous avons gagné par là toute la distance de la longueur du tuyau quant à la force avec laquelle le son frappera notre oreille.

Le jeune de L. On doit donc entendre un son au bout d'un tuyau de toute longueur aussi fortement que si on étoit tout près du point où l'on exécute le son!

Mr. de P. Assurément; cette simple théorie le prescrit et l'expérience, faite sur des tuyaux de plusieurs mille pieds, le confirme. Mais ce n'est pas tout. Ces deux rayons sonores que nous avons vus se réflêchir dans le tuyau ne sont pas les seuls. Ce n'est qu'une paire d'une très grande quantité de rayons semblables dont je vous en dessine quelques-uns, comme Cn, Cm, qui partant tous du point C se réflêchissent, se croisent également dans le tuyau et en ressortent comme la première paire.

Ainsi le tuyau concentre en quelque sorte tous ces rayons sonores qui arrivent à ses parois, qui sans le tuyau se perdroient inutilement dans l'air pour l'oreille placée en l, et les conduit au moyen de plusieurs ré-

flexions à l'autre extrémité DE du tuyau d'où ils sortent tous sous le même angle qu'ils formoient originairement entre eux en partant du point C.

Vous vous ferez une idée de cet effet du tuyau en imaginant une plaque fort près de l'ouverture DE. Les rayons sonores directs qu'elle recevra du point C, que le tuyau soit là ou non, seront tous contenus dans un cône dont l'angle du sommet est l'angle DCE. Les rayons réfléchis que la même plaque du diamètre DE recevra seront ceux qui sont contenus dans un cône de même base, mais dont l'angle est nCm, si Cn et Cm sont les premiers rayons qui atteignent les parois du tuyau. Ainsi si l'angle DCE est de 10 degrés et l'angle nCm de 160 degrés . . . . .

Le jeune de L. La plaque placée en DE recevra 16 fois plus de rayons sonores au moyen du tuyau, qu'elle n'en recevroit sans le tuyau.

Mr. de P. Non pas 16 fois, mais seize fois 16 fois ou 256 fois, parce que, comme il s'agit ici de surfaces, il faut prendre le carré de la proportion de 1 à 16.

Mde. de L. Je ne comprends pas cela. Vous êtes grand amateur du carré des nombres.

Mr. de P. Le moins possible, Madame. Mais ici je ne puis me passer d'eux; permettez moi de vous éclaircir la chose. Si vous voulez supprimer le tuyau et cependant recevoir sur une plaque placée en DE tous les rayons sonores contenus dans le cône qui a à son sommet l'angle nCm, il est clair que votre plaque devra avoir un diamètre 16 fois aussi grand que DE, et qu'elle aura parconséquent une surface 256 fois aussi grande que la plaque du diamètre DE. Donc chaque

point sensible de la petite plaque, qui reçoit les rayons réflêchis par le tuyau, recevra 256 fois plus de rayons sonores que chaque point sensible de la grande.

Mde. de L. Je fais mes excuses aux nombres carrés ou aux carrés des nombres. Mais veuillez nous dire si réellement on entend au moyen d'un pareil tuyau un son 256 fois plus fortement que sans le tuyau à la même distance.

Mr. de P. Non, Madame, et le résultat de l'expérience est bien au dessous de celui du calcul. Le son est à la vérité considérablement renforcé, mais pas dans une telle proportion, d'un côté parce que le son n'est pas réflêchi avec une régularité parfaite, et que parconséquent il se propage dans toutes sortes de directions et même à rebours; d'un autre côté parce qu'à chaque réflexion le son s'affoiblit, enfin parce que notre oreille ne peut pas être placée à la fois dans tous les points où elle recevroit chaque couple de rayons sonores qui sort du tuyau.

Le Comte C. Voilà donc les principes sur lesquels on a proposé de faire des télégraphes (on devroit les nommer télélogues) au moyen de tuyaux enfouïs dans la terre au bout desquels on parleroit pour être entendu à mille lieues.

Mr. de P. L'idée est possible en théorie; mais, sans calculer les frais que ce portevoix exigeroit, je ne me chargerois pas de l'emploi d'auditeur; car les sons articulés se brouilleroient si bien qu'il seroit impossible de rien comprendre.

Le Comte C. Comment céla?

Mr. de P. Un tuyau de 20 à 25 pieds de longueur met déjà un peu de confusion dans les sons articulés. Vous concevrez la chose dès que vous considérerez que chaque couple de rayons sonores, comme Cn et Cm, se trouve réfléchi sur toute la longueur du tuyau plus ou moins de fois que son couple voisin, et que parconséquent il fait plus ou moins de chemin que lui dans le tuyau. Or comme la vitesse absolue du son est toujours la même, il est clair que les rayons le plus fréquemment réfléchis arrivent le plus tard au bout du tuyau, et que parconséquent l'oreille de l'auditeur entendra à une grande distance plusieurs syllabes à la fois, ce qui doit enfin produire une vraie cacophonie. Supposez par ex. que le rayon Cn fasse seulement 4 fois plus de chemin que le rayon CD pour arriver au bout g du tuyau, et que le tems nécessaire à celui-ci soit d'une seconde, il est évident que le rayon sonore Cn n'arrivera qu'au bont de 4 secondes. En supposant que la longueur du tuyau (à cette condition que le son CD arrive au bout d'une seconde) soit de 1000 pieds, il est clair qu'il faudra un intervalle de 4 secondes au moins entre deux syllabes prononcées pour que chacune puisse être entendue séparément; car le son de chacune durera 4 secondes. Ainsi un tuyau de 1000 pieds permettroit à peine de prononcer 15 syllabes par minute, et pour une longueur de 15000 pieds ou d'un peu plus d'une lieue de france on ne pourroit prononcer qu'une syllabe dans une minute, et une petite dépêche de 60 syllabes exigeroit pour être prononcée distinctement au moins une heure, tems qui suffiroit pour porter à pied là dépêche.

Mr. de G. Ce simple calcul prouve combien il

est nécessaire d'avoir égard à toutes les circonstances lorsque, sur la foi de quelques expériences en petit et un léger aperçu de théorie, on veut proposer des nouveantés.

Mr. de P. On a bien senti l'inconvénient qui résulteroit de la cacophonie qui auroit lieu par cette manière de porter la voix à de grandes distances, et pour l'éviter on a proposé de frapper des coups de marteau sur une petite cloche. Mais ce remède est pire que le mal. Car alors il faudroit exprimer chaque syllabe par des lettres à part, dont chacune seroit rendue par un certain nombre de coups de marteau sur le timbre, et le nombre moyen de ces coups sera de 12 pour chacune des 24 lettres de l'alphabet; or comme on peut admettre que chaque syllabe a en nombre moyen trois lettres au moins, il est clair que chaque syllabe exigera un nombre moyen de 36 coups de marteau, et par conséquent 144 secondes ou 2 minutes et 24 secondes pour être transmise, ce qui feroit 2 heures et 24 minutes pour une petite dépêche de 60 syllabes, portée à la distance d'une lieue!

Mr. de R. Voilà les télégraphes acoustiques mal dans leurs affaires! On n'en fera pas de sitôt.

Mr. de V. (souriant) J'en suis au désespoir! Ces télélogues souterrains cadreroient si bien avec la Politique! Et rien de mieux imaginé que l'idée de placer le ministre de Pekin ou de Pétersburg à un bout d'un tuyau et celui de Lisbonne à l'autre bout pour traiter les affaires. On pourroit au moins être sur du secret.

Mr. de P. Aussi longtems que le cabinet de Vien-

ne ou tout autre, sur ou sous le territoire duquel votre télélogue passeroit, ne s'aviseroit pas de faire un trou au tuyau pour se faire le confident de ces entretiens secrets.

Le Comte C. Vous avez nommé une fois ce télélogue porte-voix. Veuillez nous instruire des qualités d'un instrument qui n'a rien de secret, du vrai porte-voix; ne fut-ce que pour déjouer la politique de monsieur *de V.*

Mr. de L. Rivalité de métier!

Mr. de V. Que vous éprouvez vous-même, Général, parce que le Comte empiète pour la première fois un peu sur votre droit d'être méchant.

Mr. de G. Le Général a raison: *principiis obsta.*

Mr. de P. Si je ne vous interromps pas, messieurs, il paroît que nous allons tous usurper le domaine du Général. Ainsi parlons du *porte-voix,* quoique, à la vérité, je ne sache guères que vous dire de cet instrument.

Ce qu'il y a de sur c'est que le porte-voix est un tuyau dont l'embouchure est étroite et l'ouverture opposée très large. Quant aux dimensions des autres diamètres de ce cône, rien de plus incertain que ce que nous avons à faire pour donner à cet instrument un haut degré de perfection. Le premier portevoix, inventé par l'anglois Morland en 1671, avoit la forme d'une trompette, comme la figure que je vous dessine (fig. 61), figure qui s'approche de l'hyperbole, proposée déjà en 1672 par Cassegrain et travaillée depuis par Bernouilli et Euler, et qu'on regarde aujourd'hu comme très susceptible non seulement de renforcer le son mais

aussi de propager les sons articulés avec une certaine précision surtout si on parle dans le ton propre à l'instrument. Un allemand, nommé Jean Mathias Hase a donné au porte-voix une figure toute contraire BADE, (fig. 62) c. à. d. parabolique, afin que les directions des rayons sonores deviennent toutes parallèles à l'axe du tuyau et se disséminent moins à l'extérieur. Mais pour cet effet il faut que la voix parte du foyer F de la parabole. Pour obtenir ce but Hase a ajouté au tuyau parabolique un tuyau elliptique G dont un des foyers est au même point F que celui du cône parabolique, et l'autre à l'embouchure C. On a décrié cet instrument; mais j'en ai vu un de 8 pieds de longueur qui faisoit un très bon effet, soit pour la force, soit pour la clarté des sons articulés. Enfin Lambert a congédié toutes les courbes et construit tout simplement son porte-voix en forme de cône rectiligne, dont l'angle du sommet est égal à 13 degrés pour une longueur d'environ 5 pieds; ce qui fournit une embouchure d'environ $1\frac{1}{2}$ pouce et une ouverture BE de 13 p. de diamètre. Cette espèce de portevoix fait également un bon effet, et je ne suis pas en état de vous dire auquel de ces trois instrumens je donnerois la préférence. J'ajouterai seulement que, comme le métal des porte-voix vibre lui-même par les impulsions de l'air et lui communique de nouvelles vibrations qui diminuent la clarté des sons, on conseille avec raison de le recouvrir d'une enveloppe de laine qui anéantit les vibrations du métal.

Mr. de T. Ces diverses constructions du porte-voix, qui sont toutes bonnes et dont aucune n'a une préeminence décidée, prouvent, ce me semble, qu'on

ignore encore bien des choses sur la nature du son réfléchi.

Mr. de P. Assurément et nous sommes dans le même cas à l'égard d'un autre instrument dont se servent les personnes qui ont l'oreille dure et qu'on nomme *cornet.* On lui donne différentes formes qui se rapportent toutes à une figure de cône, recourbé ou même replié en différents sens pour la commodité. Le petit bout du cône se place à l'entrée de l'oreille, et le bout large reçoit les sons et les transmet renforcés jusqu'au canal auditif. Le cornet est proprement un porte-voix renversé.

Au reste il y a un choix à faire parmi les cornets suivant le degré de surdité. Une personne qui n'a l'oreille que peu dure ne doit pas se servir d'un cornet d'un grand effet, c. à. d. qui renforce considérablement les sons.

Mr. de T. Quelle peut en être la raison? On ne pourroit avoir à craindre que d'entendre trop fort, inconvénient qu'on pourroit toujours prévenir en s'éloignant davantage de la personne qui parle ou en détournant l'ouverture du cornet de sa direction.

Mr. de P. N'oubliez pas que le cornet renforce tous les sons et parconséquent aussi mille petits bruits qui ont lieu autour de nous, que nous n'apercevons pas ordinairement, mais qui, renforcés par le cornet, deviennent forts et incommodes et diminuent la clarté des sons qu'on veut entendre, qui l'est déjà par la nature de l'instrument. Notre but ne peut pas être d'entendre fortement, mais distinctement. Ce sont ces petits bruits, d'ailleurs imperceptibles, qui ont lieu

tout le jour tant qu'il y a dans la maison quélque mouvement, qui produisent le bourdonnement que nous entendons lorsque nous plaçons à l'oreille l'ouverture d'une de ces grandes et belles coquilles de forme d'escargot qu'on trouve dans les cabinets de Conchyologie. Ces petit bruits mettent l'air contenu de la coquille en vibrations qui se propagent en tout sens et finissent par en ressortir par la grande ouverture, la seule qu'ait cet instrument acoustique, qui sûrement serviroit de cornet si l'on adaptoit à son sommet un petit tuyau qui conduisit le son dans l'oreille.

Mr. de G. Ainsi la Nature, toujours infiniment riche dans ses productions, nous a donné dans ces coquilles, déjà si intéressantes à tant d'autres égards, un modèle d'un instrument acoustique.

Mr. de P. La corne de vache, si connue en Suisse comme instrument de Musique, est également un modèle de porte-voix; exécutée sur de plus grandes dimensions c'est le porte-voix de Lambert; car la courbure de la corne entière ne fait rien à la chose. La Lyre d'Apollon était originairement un crâne de boeuf armé de ses cornes entre lesquelles on a tendu des cordes de boyeau; et les cornes faisoient, de même que le crâne, l'effet de la table de résonnance. On a ensuite construit la lyre en bois; puis on a réuni les deux cornes en forme de manche; ce qui a produit la guitare, à laquelle enfin on a donné un double ventre pour augmenter la résonnance; et voilà le violon, petit-fils de la lyre et arrière-petit-fils d'une tête de boeuf.

Les arbres, les forêts, sont des harpes immenses

que l'agitation de l'air met en vibration. Le vent touche ces cordes innombrables, les fait résonner et produit cette musique singulière et imposante qui inspira à Ossian ses chants immortels, dont les accords répondent si bien à ce désordre sublime des sons de la forêt tantôt doux et suaves, tantôt impétueux et sublimes. L'homme a imité en petit cet instrument gigantesque de la Nature par l'invention de la *harpe d'Eole*, dont les cordes, agitées par un courant d'air formé dans l'ouverture étroite d'une fenêtre, portent à l'oreille étonnée ces sons incompréhensibles, cette harmonie sublime dont l'art n'a jamais pu imiter la cadence mystérieuse, musique ravissante qui semble descendre immédiatement du ciel et qui dit à l'ame exaltée que l'homme est destiné à une existence plus pure et plus heureuse que son existence terrestre.

Mde. de L. Que j'aimerois à entendre cette musique ravissante!

Mr. de P. Rien de plus facile, Madame, et je me charge de vous procurer ce plaisir aux premiers jours.

Mais puisque nous en sommes aux instrumens naturels de Musique, permettez moi, de vous décrire deux autres instrumens acoustiques où la Nature a développé la magie de l'art le plus profond, *l'organe de la voix et l'organe de l'ouïe*, que nous sommes encore bien loin de comprendre à tous égards et dont parconséquent je ne pourrai vous donner qu'une esquisse bien imparfaite.

L'homme employe sa voix à deux usages, à la parole et au chant, sans compter les accents de la joye,

de la douleur, de l'étonnement &c. — La parole consiste en sons que nous nommons articulés, par opposition aux sons du chant qui coulent en quelque sorte les uns dans les autres. Pour chaque individu les sons de la parole ont d'ordinaire un seul et même ton, varié par une infinité de timbres qui correspondent aux lettres de l'alphabet et à leurs combinaisons dans chaque syllabe. Les sons du chant au contraire varient très peu par le timbre mais beaucoup par le ton et comprennent jusqu'à trois octaves. Ainsi la voix humaine réunit les propriétés de chaque instrument de musique et les timbres particuliers d'une trentaine d'instrumens. Tel est le problème que la Nature s'est proposée de résoudre par l'organe de la voix humaine. Tâchons, sinon d'expliquer, au moins de deviner par quels moyens elle est parvenue à sa solution.

L'organe primitif de la voix est un instrument-à-vent. L'air nécessaire à son jeu lui est fourni par le poumon, et nous ne pouvons qu'admirer cette double fonction du poumon, celle de faire sortir de notre corps un air gâté par le procès vital, air qui, s'il n'étoit éloigné de l'intérieur de notre corps, nous infecteroit bientôt de maladies mortelles, l'autre d'employer cet air inutile et dangereux à notre organisation à produire la voix (la parole et le chant) qui forme les liens moraux de la société humaine, nous procure les plus nobles agrémens de la vie et élève l'intelligence de l'homme infiniment au dessus de toutes les autres.

Mr. de R. Qui de nous ne connoissoit pas ces deux fonctions du poumon? Mais qui de nous a songé à les rapprocher ainsi et à fixer l'attention sur la Sages-

se infinie qui sait atteindre tant de buts différents avec les mêmes moyens? La science seule nous fait faire ces belles comparaisons qui finissent toujours par nous ramener à l'Auteur de toutes ces merveilles.

Mr. de P. L'air pressé hors du poumon pendant l'expiration passe dans *la trachée - artére*, tuyau flexible composé d'anneaux cartilagineux placés l'un sur l'autre et joints par une membrane étroite et élastique qui va de l'un à l'autre. Cette construction donne à la trachée-artère la possibilité de se courber, de s'allonger et de se raccourcir. Ce tuyau se termine à l'entrée du gosier par un appareil particulier qui se nomme *la glotte* et qui est composé de deux lames membraneuses rectangulaires, placées parallèlement l'une à l'autre à une très petite distance et susceptibles de se rapprocher plus ou moins. L'intervalle de ces deux lames offre ainsi une fente étroite, dans laquelle l'air qui vient du poumon est forcé de passer pour arriver à la bouche.

Au dessus de la glotte se trouve une membrane élastique, épaisse et en forme de langue, *l'épiglotte*, fixée par sa base seulement en sorte que son bout, tourné vers le bas, peut s'abaisser sur la glotte et s'élever sous différentes inclinaisons un peu au dessus d'elle.

L'air, après avoir passé avec rapidité par la glotte, se trouve dans la cavité de la bouche, espace qui n'a que deux ouvertures, la bouche proprement dite et un canal qui aboutit du fond du palais aux fosses nasales. L'orifice de ce canal est tantôt ouvert, tantôt fermé par une soupape membraneuse en forme de voile, com-

me celles du coeur, et qu'on nomme *la voile du palais.*

L'intérieur de la bouche comprend *la langue,* muscle élastique, très mobile, capable de beaucoup de souplesse et en même tems d'une rigidité assez considérable et *les dents,* double ratelier d'os de la plus grande dureté. Cette cavité s'ouvre ou se ferme parfaitement par *les lèvres,* muscles de la plus grande souplesse et susceptibles de produire des ouvertures de figures et grandeurs très variées.

Voilà les parties de cet admirable instrument. Essayons d'en examiner le jeu.

La trachée-artère, d'une médiocre longueur et dont le raccourcissement ou l'allongement est très limité, ne peut guères être considéré comme destiné à produire par sa longueur si peu variable les sons graves et aigus. Car cette augmentation ou diminution de longueur ne répond pas à l'étendue de l'échelle des tons dont la voix humaine est susceptible, et nous devons supposer que sa flexibilité est motivée par d'autres vues de la Nature. C'est donc la glotte qui produit ces tons variés qui nous ravissent dans le chant, et nous devons la regarder comme une anche libre, c. à. d. dont les deux lames sont minces, élastiques et très mobiles, telles qu'elles le sont dans le haut-bois. Or nous savons que les tons produits par les anches sont d'autant plus aigus que les lames des anches sont plus courtes et d'autant plus graves que les lames sont plus longues. Nous devons donc supposer que pour produire des sons graves et aigus les lames de la glotte doivent s'allonger et se raccourcir, et le moyen le

plus simple que nous puissions imaginer pour cela est que la fente seule qui est formée par les deux lames s'alonge ou se raccourcisse, c. à. d. que le bas des bords extérieurs des lames se touche plus ou moins. Ainsi pour les sons les plus bas la fente aura toute la longueur possible et pour les sons plus aigus les bords des lames se rapprocheront à commencer par le bas jusqu'à une certaine hauteur, en sorte qu'il n'y ait que la partie supérieure des lames qui soit libre et parconséquent en état de s'écarter pour laisser passer l'air. Ce mécanisme peut donc rendre à peu près compte des modulations de la voix dans le chant.

Quant à la parole, distinguons les syllabes qui n'ont qu'une voyelle de celles qui sont en même tems affectées de consonnes. La prononciation des voyelles est la première difficulté à lever. Les voyelles ne sont proprement que des timbres fixes d'un seul et même ton et applicables à tous les tons; car chaque ton peut être exprimé dans chaque voyelle et chaque voyelle peut être en quelque sorte enveloppée dans chaque ton. Si donc la glotte fournit les tons, graves ou aigus, il est probable que l'épiglotte en s'inclinant plus ou moins vers la glotte et en coupant de la sorte l'air qui en sort, et mise elle même dans l'état de vibration par le courant d'air, produit ces timbres bien déterminés que nous nommons voyelles. Ainsi voilà le fondement de la parole posé.

La Nature nous fait prononcer les consonnes en ajoutant au jeu de la glotte et de l'épiglotte celui de la langue, des dents et des lèvres, qui, en modifiant les sons dans la cavité de la bouche et à leur sortie, don-

nent à la voix de nouveaux timbres moins marqués que ceux des voyelles et qui ne peuvent presque pas se prononcer sans voyelles, par ce que le son, passé une fois et répandu dans la cavité entière de la bouche, ne peut plus être modifié aussi complettement qu'au sortir de la glotte où il se trouve dans l'état de la plus grande concentration.

Enfin le canal, qui va du palais aux fosses nasales, semble destiné à donner à tous les sons une plus grande pureté en formant une communication de l'air de la bouche à l'air extérieur; car lorsque cette communication cesse, soit que l'orifice supérieur dans le nez se trouve obstruée par un rhume de cerveau, soit que la voile du palais en ferme l'ouverture inférieure, alors la voix prend un timbre particulier, ce qu'on nomme: parler du nez. La voile du palais paroît donc avoir la prononciation des voyelles nasales pour but.

Mr. de R. Quelle beauté, quelle perfection dans ce mécanisme de la voix! Et comment pouviez-vous dire, monsieur *de P.*, que nous sommes peu instruits à cet égard? Il me semble que vous nous avez tout expliqué. Vous n'avez oublié aucun détail.

Mr. de P. Vous êtes bien bon, mon cher, de vous contenter de si peu. Le tableau rapide que je viens de vous offrir n'est qu'une ébauche, bien grossière et bien vide. Vous ai-je dévoilé le mécanisme qui, en rapprochant les parties inférieures des bords de la glotte, racourcit la fente de cet instrument? Connoissons-nous les muscles qui produisent ces mouvemens infiniment délicats? Connoissons-nous leur jeu qui doit pour chaque ton donner à ces lames, et dans cha-

que point de leur longueur, un degré différent d'élasticité? Sommes-nous seulement bien sûrs que l'échelle des sons s'exécute par ce raccourcissement et cet alongement de la fente de la glotte? Cette idée n'est qu'une hypothèse fondée sur ce que les anches les plus courtes produisent les sons les plus aigus. Qui en outre nous a dit avec certitude que c'est l'épiglotte qui produit les voyelles et sommes-nous en état seulement de nous faire une idée de ce que c'est qu'une voyelle considérée dans les principes de la théorie des sons? Connoissons-nous les mouvemens de la langue lorsque nous parlons, et le mécanisme de ces mouvemens si variés? et sommes-nous en état de nous rendre compte de l'influence de ces mouvemens sur les vibrations de l'air dans la cavité de la bouche? Les deux rangées de dents forment une ouverture longue et étroite du genre de celle des sifflets d'orgue, mais savons-nous quelle influence la largeur plus ou moins grande de cette ouverture doit avoir sur ces timbres de notre voix que nous nommons consonnes? Enfin sommes-nous en état de décrire et surtout d'aprécier avec quelque exactitude l'effet de l'ouverture des lèvres qui varie presque à l'infini de figures et de grandeurs soit pour le timbre, soit pour la force des sons?

Mr. de R. Vous me découragez entièrement par ce tableau de notre ignorance.

Mr. de P. Je vous décourage? Eh bien! vous serez atterré par une nouvelle considération. Je viens de vous donner une idée, encore bien imparfaite, de ces nombreuses opérations, de ces mouvemens infinimens variés que la glotte, l'épiglotte, la langue, les

dents et les lèvres doivent exécuter pour produire les modulations du chant et la magie de la parole. Ces mouvemens, ces opérations, tout ce système admirable de fonctions de l'organe de la voix humaine, ce n'est pas comme celui de ces fonctions naturelles qui ont lieu uniquement en vertu des lois immuables de la Nature que la Mécanique, la Physique et la Chimie nous ont fait connoitre, fonctions aux quelles notre volonté ne participe point et qu'à cet égard on a nommées le système végétal de l'organisation animale. Non, toutes ces opérations sujettes, à la vérité, à ces lois naturelles comme les fonctions végétales, dépendent de notre volonté. C'est nous, c'est notre âme qui met tous ces ressors en mouvement, tous ces organes en activité avec la vitesse prodigieuse que nous observons dans la parole, notre âme qui ignore tous ces mouvemens et toutes ces opérations, qui de règle n'en a pas même l'idée, et qui, même les connut-elle, n'y penseroit assurément pas au moment où elle les exécute. Quel système imaginerez-vous pour résoudre ce problème? — N'en cherchons pas, mon ami, mais prosternons nous et adorons la Sagesse infinie, le Créateur de tant de merveilles, l'Architecte sublime qui a construit ces organes admirables, et nous fait exécuter à tout instant des mouvemens que nous ne connoissons pas, des opérations dont nous n'avons point d'idée. Chaque syllabe que nous prononçons est pour nous un miracle!

Mr. de R. Non, mon cher, vous ne m'avez pas atterré. Au contraire vous m'avez relevé. Vous nous ennoblissez en nous plaçant dans cette rélation intime avec l'Etre suprême, en nous peignant vivement cette

présence continuelle du Tout-puissant qui se manifeste si clairement, si hautement, dans la plus noble partie de notre existence. L'homme n'est rien que par ses points de contact avec la Divinité, mais il est noble et grand par ces sublimes rélations avec Elle.

Mde. de L. Combien ces considérations m'ont émue et combien je me félicite de vous avoir engagé à ces entretiens! Jamais je n'aurois cru que la Physique fut liée si étroitement à la Religion et au coeur.

Mr. de P. C'est moi, Madame, qui dois me féliciter de pouvoir ainsi payer la patience que vous avez eue de me suivre dans bien des discussions qui ont du vous paroître arides. — Demain je vous ferai la description de l'organe de l'ouïe, dont la construction paroît encore plus compliquée et plus difficile à comprendre que celle de l'organe de la voix.

Trentedeuxième entretien.

Mr. *de R.* Vous nous avez promis, monsieur *de P.*, la description de l'organe de l'ouïe, de cet organe si important par lui-même et qui le devient encore davantage si l'on considère que sans lui l'organe de la voix nous seroit inutile. Car sans la sensation des sons l'homme n'eût jamais inventé la parole.

Mr. de L. L'homme? Je vous crois; mais la femme? Elle eut sûrement inventé la parole, de façon ou d'autres! La nécessité est la mère des inventions.

Mr. de R. L'idée est si plaisante que je ne puis m'en fâcher.

Mr. de P. Je vais mettre d'autant plus de sérieux dans la description de cet organe. Entrons en matière.

La partie extérieure de l'oreille est une espèce de pavillon évasé au dehors, composé de cartilages et revêtu d'une membrane. On le compare ordinairement au cornet acoustique. Il se termine en un canal ovale un peu recourbé, représenté par la figure 63 où khgi est le fond de ce pavillon, fhge le canal en question nommé *con-*

duit auditif. Représentez vous l'extrémité du canal auditif tranchée de biais sous un angle d'environ 45 degrés et fermé soigneusement par une membrane qui a la figure un peu ovale aedf. Cette membrane est tendue en forme de cône très plat dont la pointe c est tournée vers l'intérieur de la tête. On l'appelle la *membrane du tympan.*

Cette membrane sépare le conduit auditif d'un espace qu'on nomme *la caisse du tympan,* dans le quel se trouve un mécanisme bien singulier, composé principalement de trois petits corps osseux, nommés *les osselets.* Le dessin de ces osselets, que j'ai l'honneur de vous présenter, (fig. 64, a) vous offre ce mécanisme dans sa grandeur naturelle. La ligne ecf représente la coupe de la membrane du tympan dans la direction fce de la fig. 63. Le premier osselet afb, qu'on nomme *le marteau* est attaché par son manche af à la membrane du tympan précisément dans cette position. Sa tête est fixée en b dans une petite cavité pratiquée à la surface intérieure de la caisse, en sorte cependant qu'il puisse se mouvoir un peu dans ce petit creux. Sa position naturelle est telle que le manche opère une tension continuelle dans la membrane du tympan et lui donne la forme conique.

Le second osselet iond et qui s'appelle *l'enclume* est fixé par son côté nd à la paroi de la caisse et par son côté on à la tête du marteau, en sorte qu'à quelques égards il fait corps avec le marteau et est tant soit peu mobile comme le marteau lui-même.

Le troisième osselet g a précisément la forme d'un *étrier* et en porte le nom. Comme dans cette figure il

est vu de côté, je l'ai dessiné de face dans la figure 65. Sa partie supérieure est une plaque ovale. Cet osselet est attaché par son bout inférieur au bout de la corne i de l'enclume. Un petit os i de figure de lentille, à peine visible à la vue simple, se trouve placé entre deux, enveloppé de membranes très fines qui forment au point i une espèce de charnière.

Mr. de L. Où cela nous mènera-t-il?

Mr. de P. Je ne le sais pas trop moi-même. Mais au moins je vous dirai où l'on croit que cela nous mène. Quant à la caisse du timpan j'observe encore qu'elle a communication avec le fond de la bouche par un canal qui s'élargit du côté du palais et qu'on nomme la *trompette d'Eustache*.

Au dessus de la caisse du tympan se trouve un organe tout particulier, creux dans toutes ses parties, (fig. 65) qu'on nomme *le labyrinthe* et qui est composé de deux parties principales, du *vestibule* A et du *limaçon* B. Ces deux espaces communiquent ensemble, de sorte que proprement le limaçon est une continuation du vestibule.

Le vestibule se termine de l'autre côté par trois tuyaux osseux demicirculaires, dont deux, b et o se joignent en e pour entrer conjointement par une seule ouverture dans l'espace principal du vestibule, de sorte que cet espace ne communique avec ces trois tuyaux que par 5 ouvertures au lieu de six qu'il devroit avoir si chaque tuyau avoit ses deux orifices à part. Le vestibule a un trou a nommé *la fenêtre ovale*, sur le quel s'applique la plaque de l'étrier g (fig. 64) et la ferme complettement au moyen d'une membrane très mince

qui en fait le tour et qui est fixée par un de ses bords à la fenêtre et par l'autre à la plaque de l'étrier. Ainsi il faut se représenter le labyrinthe en entier placé au dessus de la caisse du tambour, dans une situation renversée, en sorte que la fenêtre et la plaque de l'étrier aboutissent l'une à l'autre.

Le limaçon a précisément la figure d'une petite coquille d'escargot. Le canal hélice qu'elle forme se retrécit de plus en plus en avançant vers le sommet et fait deux tours et demi. A l'intérieur de ce canal et sur toute sa longueur se trouve une lame, nommée *lame spirale*, fixée à angles droits sur le côté intérieur, en sorte que le canal hélice se trouve partagé sur toute sa longueur en deux espaces qu'on appelle *rampes*. La lame spirale n'occupe pas toute la largeur du canal, mais seulement un peu plus que la moitié, en sorte que les deux rampes communiquent partout entre elles. La figure 66 représente une coupe quelconque du limaçon pour faire voir la position de la lame spirale; et la figure 67 représente une coupe horizontale où l'on voit à plat une portion abedca de cette même lame; be est la paroi intérieure du limaçon, fg sa paroi extérieure.

La lame spirale est osseuse à sa base et se termine en une bande membraneuse ou plutôt nerveuse. La construction du limaçon prouve que la lame spirale diminue toujours de largeur à mesure qu'elle s'avance vers le sommet, et que, si on l'étendoit en ligne droite, elle auroit la figure d'un triangle très étroit (fig. 68).

Le Labyrinte a au côté opposé une seconde ouver-

ture nommée *la fenêtre ronde* et d'autres très petites qui servent de passage à des branches du *nerf auditif* qui doit transmettre au cerveau l'effet des vibrations de l'organe de l'ouïe. Mais la fenêtre ronde est fermée entièrement par une membrane, et les nerfs remplissent totalement les petits trous qui leur servent de passage, en sorte que le labyrinthe entier nous offre une cavité singulièrement construite et fermée de tous côtés.

Enfin j'observe que la plupart des Anatomistes d'aujourd'hui assurent que le labyrinthe est rempli d'un liquide aqueux. J'en ai connu un qui m'a assuré n'avoir jamais trouvé qu'une très petite goutte de liquide dans cet organe et trouve dans ses observations la confirmation de l'ancienne opinion, que le labyrinthe est plein d'air.

Mr. de R. Voilà un mécanisme extrêmement compliqué! Pourrons-nous en comprendre les fonctions?

Mr. de P. Voyons. Au moins nous aurons bien des doutes. Commençons par les parties extérieures de cet admirable organe.

On considère la partie concave de l'oreille extérieure, la conque, qui aboutit au conduit auditif, comme un instrument à réflexion qui reçoit beaucoup de rayons sonores et les concentre dans le conduit auditif. On appuie cette opinion sur la considération de l'oreille extérieure des quadrupèdes qui a précisément la figure d'un cornet. Mais j'avoue que je doute de la justesse de cette preuve, d'abord par ce que la courbure de la conque ne me paroît pas de nature à faire cet ef-

fet, puis par ce que plusieurs personnes qui ont l'oreille fine et qui sont même musiciennes, ont une conformation d'oreille contraire; leur conque est tournée en dehors. Il me semble que, cette partie de l'oreille étant cartilagineuse, elle sert uniquement d'apui aux sons pour entretenir autour de l'entrée du conduit auditif une élasticité rehaussée dans l'air qui l'environne immédiatement, aussi longtems qu'il est en vibration. En général la Nature nous indique par la grande variété des formes de cette partie de l'organe de l'ouïe humaine que ces formes ne sont pas déterminées uniquement par desprincipes acoustiques. Elle observe au contraire la plus grande régularité dans la conformation des organes internes.

Le conduit auditif semble, en sa qualité de tuyau, devoir renforcer les sons. Mais comme il est très court et en outre courbé et tapissé à son intérieur d'une membrane qui, dans la jeunesse du sujet, suinte une humeur visqueuse et dans la vieillesse se tapisse de poils, il est clair que la Nature a eu, au moins ici, plus d'égard à la clarté des sons qu'à leur intensité. Pourquoi en général vouloir chercher dans notre organe des moyens d'augmenter le son? La force qu'il doit avoir ne peut être que proportionnée à la délicatesse de l'organe lui-même?

Le système des deux premiers osselets de la caisse du tympan, le système du marteau et de l'enclume, nous offre un levier coudé au quel la force est appliquée en c, au centre de la membrane du tympan, dont le point d'apui est en b, et dont les deux bras af, bi, sont à-peu-près égaux. L'étrier g n'est autre chose

qu'un manche qui porte la plaque ovale qui ferme la fenêtre ovale du labyrinthe; et comme cette plaque est susceptible d'un peu de mouvement, nous nous représentons la fonction des osselets de la manière suivante: La membrane ecf du tympan, tendue par le manche du marteau, reçoit les vibrations que l'air lui communique dans le conduit auditif; ces vibrations se communiquent au bout i de la corne de l'enclume et de là, par la charnière en i et par l'étrier, à la plaque ovale, qui parconséquent doit faire des vibrations et en quelque sorte jouer l'instrument que nous nommons labyrinthe. Mais l'observation des dimensions de notre levier coudé nous prouvant que les vibrations de la plaque de l'étrier doivent avoir précisément la même vitesse et la même fréquence que celles de la membrane du tympan, on demande avec raison: A quoi sert ce mécanisme compliqué et une simple barre osseuse, fixée d'un bout au milieu c de la membrane du tympan et de l'autre à la plaque de l'étrier, ne produirait-elle pas le même effet? Cela nous paroît ainsi. Mais la Nature a peut-être voulu, au moyen de la double charnière en no et en i, exécuter ces vibrations avec plus de liberté et rendre possibles des variations qui sans cela n'auroient pas lieu. Ce qu'il y a de sûr, c'est que des personnes dans l'oreille des des quelles tout ce mécanisme est détruit ou au moins dérangé, n'en deviennent pas sourdes pour cela. L'air de la caisse du tympan, qui communique à l'extérieur, soit par la trompe d'Eustache, soit par le conduit auditif, lorsque la membrane du tympan est détruite ou percée, suffit pour mettre la plaque ovale en vibrati

le ne soit ni détruite ni alterée dans sa conformation. Mais l'ouïe de ces personnes est moins parfaite; les sensations sont moins fortes et moins distinctes.

Passons à présent au labyrinthe. Le vestibule avec ses trois tuyaux semicirculaires me paroît faire l'office d'une table de résonnance autour d'un espace rempli d'un fluide élastique, dont il coërce et renforce les vibrations qui n'ont plus à sortir de cet espace qui renferme le dernier organe de l'ouïe, la lame spirale. Mais quelque vraisemblable que soit cette opinion, nous n'en savons pour cela pas mieux à quoi servent les trois canaux sémicirculaires. Probablement à la résonnance, direz-vous; fort bien, mais quel effet ont-ils sur la résonnance? C'est ce que nous ignorons absolument, mais ce que nous pourrions peut-être apprendre par des expériences, par ex. en armant des violons de pareil tuyaux dont l'air intérieur communiqueroit avec la caisse de l'instrument.

Les avis sont partagés sur le fluide, gazeux ou liquide, qui remplit le labyrinthe. Cette question a peu d'intérêt depuis que nous savons que l'eau, comme l'air, est susceptible de vibrations sonores, depuis que nous avons vu ces vibrations produites par celles d'un gobelet lorsqu'il rend des sons, et que nous savons que l'eau propage les sons plus fortement que l'air. Peut-être que la Nature varie le choix du fluide contenu dans le labyrinthe, d'individu à individu, selon la nature du reste de l'organe, ou selon qu'elle veut donner à un individu des sensations plus ou moins fortes.

Mais la lame spirale, à quoi rapporterons-nous ses fonctions? L'opinion commune est que cette suite

de fibres, de hauteurs qui vont toujours en diminuant, est un instrument semblable à peu près à cette harmonica composée de cylindres d'acier de longueurs et épaisseurs qui vont également en diminuant et que l'on fait parler en les frottant avec un archet. Ces fibres inégales de la lame spirale sont censées montées chacune à un ton particulier et ne résonner tour à tour (ou plusieurs à la fois, mais chacune à part) que lorsque le ton qui leur convient se formé dans le vestibule. Cette hypothèse, contre laquelle on pourroit objecter que cette suite de fibres qui se touchent devroit réagir comme une surface à la manière des plaques de Chladni et ne produire en tout qu'un seul ton déterminé par la figure et les proportions de cette lame, acquiert néanmoins un haut degré de vraisemblance par l'effet bien constaté des tables de résonnance dont les fibres résonnent à part, chaque fibre uniquement pour un certain ton, quoique toutes ces fibres soient réunies par une substance intermédiaire. La lame spirale est fournie, peut-être composée d'une quantité de nerfs; qu'on pourroit regarder proprement comme l'instrument que la Nature joue ici et que la matière membraneuse à laquelle ils sont réunis n'a d'autre but que de leur servir d'apui, comme la matière poreuse du bois de sapin sert d'apui aux fibres longitudinales qui sont proprement les parties vibrantes de la table de résonnance.

L'hypothèse en question s'appuie encore sur l'observation que l'on a faite, que le labyrinthe dans les enfans nouveaux-nés est tout aussi grand que dans les adultes; ce qui devient nécessaire dans notre hypothè-

se, par ce que, s'il croissoit avec les années, l'adulte et l'homme fait n'entendroit plus les mêmes sons qu'à l'age de 6 ou 7 ans et oublieroit nécessairement la Musique qu'on lui aurait fait apprendre à cet age.

Ce qu'il y a de bien certain c'est que nous ne pouvons rien dire de positif là-dessus et que nous ne concevons pas même l'effet de la table de résonnance.

Mr. de G. Ainsi nous voilà au bout de notre science!

Mr. de P. Absolument, et notamment à chaque pas que nous avons fait dans l'examen de cet organe mystérieux.

Mr. de G. Une montre de poche est assurément une machine bien ingénieuse et qui fait honneur à la Mécanique. Mais avec quelle facilité un homme tant soit peu formé viendroit-il à bout de se rendre raison de chaque partie de ce mécanisme, quelque compliqué qu'il paroisse au premier coup-d'oeil; des paysans sans instruction apprennent d'eux-mêmes à faire des horloges. Mais l'organe de l'ouïe est encore un secret pour nous, un système entier de secrets même pour les savans les plus éclairés et les plus profonds, qui ont fait honneur au genre humain par leurs travaux précieux en Physique et en Mécanique! Quelle idée cela ne doit-il pas nous donner de l'Intelligence suprême! ....

Mr. de P. Qui en outre a varié à l'infini le mécanisme de l'ouïe dans les espèces innombrables d'animaux qui sont douées de ce sens; et chacune de ces variations est pour nous un nouveau mystère! Mais aussi rappellez vous, Messieurs, tout ce que nous avons dit sur la formation des sons et sur leur propa-

gation jusqu'à notre oreille; souvenez vous des difficultés que nous avons rencontrées, des problèmes non résolus qui se sont trouvés dans le problème général de faire naître et de propager dans l'air l'échelle entière des tons, de concevoir cette multiplicité des sons que produit un orchestre nombreux, d'expliquer les timbres particuliers à chaque instrument et à chaque voix et leur propagation dans un seul et même fluide gazeux avec leurs modifications dans différents fluides, de dévoiler la formation des sons articulés de la voix humaine qui ne sont que des timbres d'un seul et même ton applicables a tous les tons de trois octaves — Représentez-vous bien clairement et vivement cette multiplicité de phénomènes qui tous doivent se répéter dans l'organe de l'ouïe, et se réfléchir de là comme d'un miroir pour être transmis à l'âme par le canal du nerf optique, et vous avouerez que l'oreille humaine doit être un instrument d'une composition infiniment délicate et variée, dont il est bien naturel que nous n'en puissions pas atteindre les détails.

Terminons ici nos considérations sur le mouvement par une récapitulation de tout ce chapitre important.

Tous les phénomènes produits par la Nature et la l'Art sont exécutés par des mouvemens, dont la multiplicité et la variété va jusqu'à l'infini. Les premières considérations que nous avons eues dans le cours de

nos entretiens tendoient à nous dévoiler la source de tous ces mouvemens que nous avons trouvée dans trois lois générales que les phénomènes de la gravitation, de l'attraction de surface et de l'affinité nous ont fournies. Le but du chapitre qui a succédé au premier, étoit de considérer le mouvement comme tel pour découvrir les lois particulières selon lesquelles il s'exécute. Sans la connoissance de ces lois du mouvement nous ne pourrions nous rendre raison d'aucun phénomène, puisque chaque phénomène est proprement un mouvement. Car il ne suffit pas en Physique d'entrevoir quelques accords généraux entre les phénomènes. La Nature agit partout, le compas et la balance à la main et nous ne pouvons la comprendre qu'en nous servant des mêmes moyens qu'elle emploie constamment à ses opérations.

Pour se frayer une route dans cette carrière immense il a fallu trouver des points de vue d'où il fut possible de découvrir certains districts de ce vaste espace, et la réunion de ces différents districts est ce que nous nommons la science du mouvement.

Mais avant tout nous avions besoin d'un point de vue très élevé d'où nous pussions faire une reconnoissance générale de tout notre terrain, semblables en ceci au Géographe qui, placé sur le sommet de la plus haute élévation, observe au moyen du télescope les autres points principaux, fixe ses alignemens et mesure ses angles. Ce point élevé du Mécanicien c'est l'idée elle-même du mouvement, composée de trois élémens, la masse, l'espace parcouru et le tems. Le *théorème du parallélogramme des forces* est son télescope qui

découvre et fixe toutes les proportions. Le premier usage que nous en avons fait a été de simplifier le problème général du mouvement des corps en découvrant le *centre de gravité*, découverte qui nous a permis de considérer une infinité de petites masses dont chaque corps est composé comme n'en faisant qu'une seule et de réduire le calcul de toutes ces masses ensemble à celui d'un point mathématique.

Précisément cette considération des masses petites et innombrables qui composent chaque portion de matière d'une étendue assignable, nous a fait voir que notre champ se partage en deux grands domaines, celui des *corps solides* et celui des *corps fluides*, l'observation nous ayant appris que, dans le mouvement des solides, chaque partie participe entièrement au mouvement imprimé au centre de gravité, tandis que dans les fluides chaque particule n'y participe qu'en partie et a des mouvemens à elle différents du mouvement général de la masse.

La considération du mouvement produit par plusieurs forces, qui agissent en même tems sur le même centre de gravité, nous a conduit à l'idée de *l'équilibre*, du repos produit par plusieurs forces tellement combinées qu'elles se détruisent mutuellement, considération essentielle pour la découverte des lois du mouvement, en ce qu'elle nous fait considérer le mouvement comme produit par un exédent de force d'un côté, et qui n'auroit pas lieu sans cet excédent.

Ainsi voilà notre terrain immense partagé, comme par deux lignes droites qui se coupent à angles droits, en quatre grands districts. D'un côté nous

avons les deux districts de l'équilibre et du mouvement des solides, de l'autre les deux districts de l'équilibre et du mouvement des fluides. Nous les avons parcourus tous les quatre à part en commençant par le plus simple et le plus clair, celui de l'équilibre dans les solides.

Mais dans ce premier district il se présentoit déjà une foule d'objets, les *machines* presque innombrables de l'art et de la nature, dont la variété offusquoit la vue. Nous les avons réduites à trois machines idéales, *la machine funiculaire*, *le levier* et *le plan incliné.* Elles sont la base des vraies machines et nous l'avons prouvé par quantité d'applications, qui, outre leur importance pour la Science, nous offrent un interêt de pratique et d'utilité bien digne de nos recherches. La balance a été, un l'objet principal de ces applications, à cause de sa grande importance dans la vie commune et dans la Physique.

Mde. de L. J'ai l'honneur de vous assurer que je n'ai pas oublié le rôle important que la balance a joué dans nos entretiens sur les machines; je m'en souviendrai toute ma vie.

Mr. de P. J'espère, Madame, que ce sera sans rancune.

Mde. de L. Je ne sais trop. Vous m'aviez mise à la torture, et cela de gaieté de coeur.

Mr. de P. Il est si beau, Madame, de pardonner, si doux de recevoir son pardon!

Mr. de L. Quelles folies nous dites-vous là! Ne voyez-vous pas que ma femme ne vouloit que se faire valoir des efforts que votre balance lui a coûtés? Les

femmes vendent toujours faire valoir leurs petits sacrifices.

Mr. de P. Pas du tout. Madame *de L.* vouloit tout simplement interrompre la monotonie de mon ton de cathèdre, dont elle sent que je ne puis me passer dans cette récapitulation, en vous donnant occasion de débiter quelque sarcasme contre les femmes. Passons à notre second district, au mouvement des solides.

Nous avons d'abord considéré le *mouvement accéléré* qui nous a fourni la loi de la *chûte des corps*, phénomène qui non seulement est infiniment important par lui-même, mais qui en outre nous fournit une mesure pour évaluer les autres mouvemens et les forces qui les produisent, qui nous conduit en sus à la théorie du *pendule*, de cet instrument infiniment ingénieux et simple qui, en réglant la marche de nos horloges, fournit à tout homme comme à l'Astronome la mesure la plus exacte du tems, mesure dont nous avons également besoin dans la vie commune, dans les calculs de la Mécanique et dans l'observation de la marche des astres.

Le pendule nous a conduit à la considération du *mouvement central*, mouvement produit par deux forces, dont l'une tend à faire marcher le corps en ligne droite et l'autre s'efforce sans cesse à le rammener vers un point fixe, le centre de cette attraction, qui devient par cette combinaison des deux forces le centre de mouvement et produit un mouvement curviligne. Ce mouvement bien analysé nous dévoile le secret de la marche sublime des astres et de la marche meurtrière de

la bombe, et appliqué au mouvement circulaire, nous a fait connoître la force centrifuge qui tend continuellement à éloigner le corps du centre de mouvement.

Après avoir examiné théoriquement ces espèces de mouvemens nous sommes rentrés dans le champ de la pratique en considérant *le mouvement dans les machines.* Le problème à résoudre ici paroissoit être d'une immense difficulté à raison de la grande variété des machines. Mais une seule considération l'a bien simplifié. Nous nous sommes ressouvenus que dans une machine quelconque nous avons équilibre quand le moment de la force est égal à celui de la résistance. Ce principe des momens des forces nous a appris qu'il ne falloit que donner *un surplus* au moment de la force pour opérer le mouvement et nous avons trouvé, au moyen de la théorie du levier, le rapport de ce surplus à la vitesse de la machine qu'il effectue.

Mais il restoit encore une considération à faire. Dans l'analyse précédente nous avons considéré les machines comme des figures géométriques sans masse, et il falloit encore découvrir quelle influence la masse des parties de la machine a sur le mouvement. Nous avons d'abord vu que pour tous les cas où la machine a un mouvement régulier et égal, cet effet n'existe qu'au commencement du mouvement et peut être regardé comme nul pour toute machine qui va plusieurs heures de suite d'un mouvement uniforme, mais que les masses produisent par leur inertie des effets très nuisibles dans tous les cas où le mouvement n'est pas uniforme, où il augmente et diminue, où il s'arrête et recommence, où il se fait alternativement dans des

directions opposées. Ne pouvant réduire à rien ce déchet dans l'effet de la machine, nous sommes parvenus à le diminuer considérablement par les *roues d'inertie*, réservoirs de mouvement ou de force qui s'emplissent et se vident alternativement selon le besoin.

Enfin nous avons considéré le mouvement dans *le choc des corps* et découvert bien des phénomènes inattendus produits par l'élasticité des corps choquants, dont le plus frappant est celui qui a lieu lorsque plusieurs balles élastiques et de même masse se touchent et qu'en choquant la première, la dernière seule se met en mouvement et laisse les autres parfaitement en repos. Ce repos prouve que ces petites masses opposent dans cet arrangement une résistance infinie au mouvement que le choc sembloit devoir leur donner. Ce phénomène, bien expliqué par la théorie du choc des corps élastiques, rend compte d'un autre phénomène d'ailleurs inexplicable, je veux dire l'effet de la poudre enflammée qui fend un rocher tout aussi bien lorsqu'on verse tout simplement dans le trou, au fond du quel est la charge, une poignée de sable sec, que lorsqu'on le ferme avec le tampon le plus solide à l'ancienne manière.

Le choc d'un corps élastique contre une table également élastique sous toutes sortes d'inclinaisons nous a fourni *le mouvement réfléchi* dont la théorie est susceptible de plusieurs applications non seulement en Mécanique, mais aussi, comme nous verrons à la suite, dans les phénomènes de la chaleur et de la lumière.

Nous n'aurions pas eu une idée complette des phénomènes du mouvement des solides si nous avions omis deux circonstances qui accompagnent d'ordinaire le mouvement, *le frottement* et *la roideur des cordes*, circonstances qui diminuent toujours l'effet des machines. Nous n'avons aucune théorie admissible pour évaluer ces deux résistances accessoires, mais un assez grand nombre d'expériences pratiques qui nous guident dans cette évaluation.

Mr. de R. Mais voilà un système complet de Mécanique, et cependant vous vous êtes déclaré dans notre premier entretien contre les systêmes en Physique.

Mr. de P. Vous vous trompez, mon cher monsieur *de R.* Ranger les faits et les raisonnemens dans un ordre naturel conforme aux règles de la logique pour expliquer les uns par les autres et se procurer un ensemble complet, ce n'est pas établir un système, les systèmes supposant toujours quelque principe arbitraire ou hypothétique dont on a besoin pour expliquer les phénomènes. Jusqu'ici nous n'avons rien de semblable, par ce que nous ne prétendons pas assigner les causes du mouvement. Mais par la suite nous ne pourrons pas éviter tout-à-fait le système, et j'aurai soin de vous en avertir dès que cela arrivera. Pour le présent continuons notre récapitulation.

Nous entrons sur le territoire des fluides, qui se partage en deux domaines, celui des fluides liquides et celui des fluides gazeux.

La théorie de *l'équilibre des fluides liquides* se base sur le plus grand phénomène hydrostatique que nous

ayons à la surface de notre terre, sur l'équilibre de l'océan qui prend par sa pesanteur la forme sphérique de notre globe. Nous avons tiré de ce phénomène l'idée *d'horizon* et de *niveau*, considérant chaque nappe d'eau, grande on petite, comme un segment de la masse entière de liquide qui enveloppe les deux tiers de notre terre; ce qui nous a conduit au théorème sur l'égalité de niveau pour toutes les portions d'eau qui communiquent entre elles par des canaux quelconques. Ce théorème nous a fourni le corollaire important de l'égale pression des liquides sur le fond des vases de même base et de même hauteur, vérité fertile en conséquences qui fait la base des calculs de l'Hydrostatique et qui nous a fourni immédiatement l'ingénieuse machine nommée *presse hydraulique* au moyen de laquelle on exerce une force étonnante.

Ces principes posés, nous avons cherché les lois de l'équilibre des solides dans les fluides; ce qui nous a conduits à *l'Aréométrie*, on l'art de trouver la pesanteur spécifique des corps de tout genre par la balance hydrostatique et les aréomètres de différentes espèces, dont l'invention prouve une sagacité peu commune. Ces mêmes lois sont applicables à l'équilibre des vaisseaux, équilibre qui dépend de deux centres de gravité, celui du vaisseau et celui de l'eau que le vaisseau déplace, théorie qui nous a fait découvrir la figure que le vaisseau doit avoir pour obtenir une assiette aussi stable et aussi assurée que possible.

Cette théorie de l'équilibre des liquides étant bien établie, le Physicien a dû s'étonner de la voir pour ainsi dire renversée par une série de petits phénomè-

nes que l'on a compris depuis sous le nom de *phénomènes de la capillarité,* où l'eau, l'esprit de vin, le mercure, bref tous les liquides, semblent dans leur équilibre suivre des lois à part, contraires à celles qui avoient été reconnues pour les grandes masses. Nous avons expliqué ces phénomènes paradoxes en combinant avec la pesanteur, qui seule nous avoit fourni les lois de l'équilibre, l'attraction de surface qui, se manifestant avec plus ou moins d'énergie dans les molécules du fluide entre elles et ces mêmes molécules et la surface du vase ou du tuyau, nous découvre complettement le jeu de la Nature dans ces petits phénomènes qui gagnent une nouvelle importance, par les applications dont ils sont susceptibles, et qui nous ont particulièrement intéressé par l'application qu'on ne doit pas en faire dans la théorie de la végétation.

Le Comte C. Avis à l'auditeur!

Mr. de P. *L'équilibre des fluides élastiques* est de deux espèces; il dépend de la pesanteur des gaz et de leur élasticité. La pesanteur des gaz étant bien démontrée nous avons pu appliquer ici les principes de l'équilibre des liquides, et cette considération nous a d'abord fourni *le manomètre*, balance hydrostatique pour l'air, qui nous instruit à tout moment de la pesanteur spécifique variable de ce fluide qui nous environne de tout côté.

L'élasticité des gaz se manifeste sur tout par la loi de Mariotte, découverte dont les Anglois au reste revendiquent l'honneur pour leur compatriote Boyle. C'est cette loi infiniment importante qui nous, a con-

duit à presque tout ce que nous savons de détaillé sur les phénomènes mécaniques de notre atmosphère. Elle est la base de tous nos calculs dans cette partie. Mais elle a dû être précédée par la découverte encore plus importante, de la pression et parconséquent du poids de l'atmosphère, par l'invention du *baromètre* qui immortalise le nom de Torricelli, instrument unique par sa simplicité et par les applications innombrables que nous en faisons dans la Mécanique, dans la Physique, dans la Chimie et dans la vie commune, et dont l'emploi pour la mesure de la hauteur des montagnes, que nous avons déjà entrevue, répand un nouveau jour sur la connoissance physique et géologique de notre globe, en nous instruisant avec une grande précision de la diminution de poids, d'élasticité et de densité des couches de l'air dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Cette théorie si simple de l'équilibre des fluides aériens nous a fourni plusieurs appareils de plus ou moins d'importance, tels que *l'aérostat*, *le larron*, *le syphon*, *la fontaine de Héron*, parmi les quels se distingue par une préeminence décidée *la pompe pneumatique* dont les effets variés, vus cent fois, ne perdent jamais de leur intérêt soit pour le Physicien soit pour l'amateur. De la pompe pneumatique nous n'avions qu'un pas à faire pour arriver aux *pompes aspirantes et foulantes* dont on se sert le plus ordinairement pour porter l'eau dans des lieux élevés. La même théorie a gagné enfin une nouvelle importance pour la connoissance du corps humain en nous révélant le secret de la respiration par le poumon et en nous dévoilant le mé-

canisme admirable du coeur qui, au moyen de canaux innombrables, porte le sang vingt quatre fois par minute du centre de notre corps à toutes ses extrémités et de ces extrémités au centre.

La théorie du mouvement proprement dit des fluides tient à la solution du *problème de l'écoulement* par un trou fait au fond d'un vase plein d'eau. Torricelli reparoît ici comme législateur dans cette partie, en nous apprenant par ses expériences que la vitesse de l'écoulement est en raison de la racine carrée des hauteurs du niveau de l'eau au dessus des ouvertures d'écoulement. Depuis, les plus grands Mathématiciens se sont efforcés en vain de démontrer ce théorème en appliquant le calcul uniquement à la loi de la pesanteur. Mes expériences sur le mouvement de l'eau dans l'intérieur du vase ont enfin prouvé que la Nature employe *l'élasticité des liquides* comme intermédiaire entre la pression de l'eau et la vitesse de l'écoulement, et prouvé le théorème presque sans calcul. Elles ont en outre expliqué les phénomènes de l'égale pression des liquides dans les vases de même base et de même hauteur, quelque soit la figure des vases et la masse d'eau qu'ils contiennent, phénomènes également inexplicables par la loi seule de la pesanteur. Ces mêmes mouvemens intérieurs de l'eau dans le vase pendant l'écoulement, combinés avec la théorie de l'adhésion des liquides, nous ont expliqué tous les phénomènes du *resserrement de la veine d'eau*, phénomènes très bien observés par Newton et Bossut et si importants pour le calcul de la quantité absolue de l'écoulement. Ces mêmes principes nous ont fourni d'abord la théo-

rie des *jets-d'eau* dont la futilité disparoît par son application aux *pompes pour les incendies.*

Mr. de T. Second avis à l'auditeur!

Mr. de P. De l'écoulement des liquides nous avons passé à leur *mouvement centrifuge* et observé pour la force qu'ils exercent la même loi que celle de Torricelli, découverte qui nous a été d'une grande utilité pour la théorie du choc des liquides. La connoissance de ce mouvement centrifuge nous a fourni *la pompe centrifuge* que la théorie déclare être la méthode la plus parfaite pour élever l'eau à des hauteurs moyennes.

Le choc des fluides contre des surfaces opposées à leur mouvement nous a présenté d'abord la Science en opposition à elle-même, diverses séries d'expériences, toutes bien faites et bien observées, fournissant des résultats si différents entre eux qu'il paroissoit impossible d'établir une théorie. Mais la Science est sortie victorieuse de ce combat des expériences en fixant dûment l'idée du choc, en assignant aux expériences leur vrai sens et en faisant entrer dans la théorie le principe de l'élasticité des liquides. Elle a prouvé que l'effet de ce choc des fluides doit se calculer sur la hauteur simple de l'eau au dessus du centre d'écoulement et non sur la hauteur double. Ces considérations établissent en quelque sorte un pont entre la pression et le choc, deux phénomènes d'ailleurs incommensurables, dont les effets n'ont point une unité commune, la pression s'exerçant sans vitesse et le choc n'existant que par la vitesse; car elles nous enseignent à mesurer la force du choc par le simple poids d'une colonne de

fluide; nous avons vu comment on en fait l'application pour calculer la force et la vitesse d'une *roue de moulin.*

La considération d'un cylindre plein d'eau, auquel on fait un trou de côté et près de la base, a conduit au phénomène surprenant de *la réaction des fluides*, et fait inventer la *roue hydraulique de réaction*, machine qui dans bien des cas remplaceroit avec un grand avantage la roue ordinaire de moulin. Nous avons terminé ce chapitre du mouvement des liquides par la considération de deux autres machines hydrauliques, *le bélier de Montgolfier*, idée brillante qui réunit à la fois la pression, l'écoulement, le choc et la réaction des fluides, et la modeste *vis d'Archimède* qui offre à la théorie la solution pratique du singulier problème de faire monter l'eau en la laissant tomber.

La théorie du mouvement des fluides élastiques offre des difficultés insurmontables quant aux expériences, par ce que les écoulemens des gaz se font toujours dans l'Atmosphère qui oppose une résistance que nous ne sommes pas en état d'apprécier. Ce qui fait que nos connoissances dans cette partie se bornent à quelques phénomènes du vent, dont le plus singulier est la variabilité de la direction des vents, variabilité qui surpasse toute idée. Ces connoissances sont même très imparfaites à cause des défauts de nos *anémomètres.* Pour nous dédommager de ce manque de connoissances nous avons considéré *les moulins - à - vent* et *l'action des voiles* et du *gouvernail* dans le mouvement et la direction des navires, objets intéressants à tant d'égards et qui ne font pas moins d'honneur à l'es-

prit humain en fait de pratique que les plus profonds calculs en fait de théorie.

Nous avons vu que le mouvement des solides est affecté de deux résistances, dont l'une, *le frottement*, a lieu partout, l'autre, *la roideur des cordes*, n'a lieu que dans certaines machines. Le mouvement des fluides est de même constamment affecté du frottement des fluides et nous avons en outre ici *la résistance des milieux*, qui proprement a lieu partout, l'air atmosphérique opposant son inertie, aux mouvemens de tous les corps qui s'y trouvent plongés.

Nous avons considéré d'abord la résistance qu'un parallélipipède flottant éprouve de la part de l'eau dans laquelle il se meut, et nous avons trouvé que cette résistance est triple et se compose de la résistance du front qui est une espèce de choc inverse, de la résistance de l'eau qui s'élève contre le front au dessus de son niveau naturel et exerce une pression opposée au mouvement, enfin de la résistance qui provient du vide qui se forme dans l'eau sur la partie de l'arrière du parallélipipède et qui produit *le sillage*. Les expériences nous ont appris que cette triple résistance équivaut à peuprès au choc d'une veine d'eau de même base que le front du parallélipipède et d'une vitesse égale à celle avec laquelle ce corps se meut. Ces trois résistances motivent la forme tranchante et courbe de la *proue* et de la *poupe* des vaisseaux.

Mde. de L. Troisième avis à l'auditeur.

Mr. de P. La résistance de l'air se calcule par la même formule que celle de l'eau, et nous avons prouvé préalablement cette résistance par la dissémination

de l'eau en gouttes dans les jets-d'eau, par *le marteau-d'eau* et surtout par l'expérience brillante du *pare-à-chûte.*

Mr. de G. Que vous nous avez dépeinte si poétiquement.

Mr. de P. Avis cette fois-ci au Professeur!

Le *frottement des liquides dans les tuyaux* est le plus important de tous, à raison du grand déchet de vitesse qu'il cause au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite souvent très longs. La loi de l'augmentation de ce déchet à raison de la longueur des tuyaux n'est connue qu'imparfaitement par une série d'expériences dues à Bossut, parce que le frottement n'a pas lieu seulement à la surface du tuyau, mais se propage dans l'intérieur du fluide par degrés qui vont toujours en diminuant jusqu'à l'axe ou milieu du tuyau et que nous ignorons complettement la loi de la propagation de ce frottement du fluide sur lui-même, phénomène qui nous a conduit à l'explication des *remoux* et de la lenteur des fleuves et nous fournira à la suite celle des goufres.

Les corps solides qui se meuvent dans les fluides exercent aussi sur ceux-ci une espèce de frottement que Vera à employé à élever de l'eau au moyen de son ingénieuse *machine à corde-sans-fin.*

L'air enfin est dans ses mouvemens également sujet au frottement et nous avons considéré principalement celui qu'il exerce sur lui-même lorsqu'un courant s'établit dans une masse d'air en repos, comme un fleuve passe par un lac. Nous avons trouvé dans ce frottement le moyen sûr que la Nature employe pour

renonveller par le vent qui souffle par dessus les montagnes, l'air des vallées qu'elles renferment. Le *ventilateur* dont je vous ai expliqué la construction est proprement une imitation de cette belle opération de la Nature.

Mr. de R. Voilà encore les ouvrages du Créateur qui nous servent de modèle et nous rappellent, à chaque pas que nous faisons dans l'étude de la Nature, sa bonté et sa sagesse infinies.

Mr. de P. Assurément et cette réflexion qui se présente à tout moment, va être confirmée d'une manière encore plus frappante par la récapitulation que je vous dois encore sur les phénomènes merveilleux du son.

D'abord il a fallu que nous sachions en quoi consiste le son, la cause physique de la sensation à laquelle nous avons donné ce nom, et nous avons trouvé que le son est une suite de vibrations, sensibles et même visibles dans les instrumens à corde, les cloches et sur tout dans les *tables de Chladni* qui nous offrent dans leurs figures déterminées une écriture musicale qui n'a rien d'arbitraire.

La considération des vibrations des cordes nous a fait découvrir *les noeuds*, ces points de la corde qui restent spontanément en repos tandis que tout le reste de la corde vibre, et qui se transforment en *lignes nodales* dans les surfaces vibrantes; peut-être existe-t-il des surfaces nodales dans les corps vibrants d'une certaine épaisseur, ces alternatives de vibration et de repos dans une et même substance paroissant une condition générale pour la formation des sons. Les cor-

des vibrantes nous ont offert en outre deux genres de vibrations, les *transversales* et les *longitudinales*.

Nous avons ensuite comparé les nombres de vibrations qui ont lieu pour différents sons et tiré de là l'idée des *tons*, plus ou moins aigus, plus ou moins graves; comparaisons qui sont la base de la théorie de la Musique.

J'usqu'ici nous n'avions considéré les sons que comme produits par les corps solides. Mais l'air atmosphérique et même les autres gaz, nous offroient un nouveau champ à moissonner; car c'est l'air qui forme les sons dans tous *les instrumens-à-vent*, par des vibrations qui dépendent uniquement de l'élasticité et de l'inertie de ses particules, vibrations sujettes à la loi des noeuds de même que celles des corps solides.

En comparant l'élasticité de la matière de nos instrumens-à-vent avec celle de l'air qu'ils renferment ou plutôt qu'ils limitent dans certaines dimensions, on a dû soupçonner que cette matière de l'instrument, sans être la partie essentiellement vibrante, doit avoir quelque part à la production du son; ce qui nous a menés à l'observation de ces différences spécifiques des sons que nous désignons par le mot *timbre*, qui se rapportent à différentes sensations de l'âme, dont la réunion dans les orchestres est un des grands agrémens de la Musique et dont l'importance se fait sentir sur tout dans la voix humaine.

Nous avons passé de ces considérations sur la formation des sons à leur *propagation*. Nous nous sommes d'abord assurés par des expériences faites avec la pompe pneumatique et un carillon que l'air atmosphé-

rique est le milieu dont la Nature se sert pour transmettre les sons des corps sonores jusqu'à notre oreille, et que nous devons cette transmission moins à la densité qu'à l'élasticité de l'air, d'où nous avons conclu que la propagation des sons, de même que leur formation n'est autre chose qu'une série de vibrations, dont la force diminue par l'éloignement du corps sonore, mais sans rien changer à la nature des tons ni à leur timbre.

Ces connoissances sur la propagation du son sont absolument infructueuses lorsqu'il s'agit de se rendre raison de la manière dont tant de tons différents et de timbres si variés, produits par un orchestre nombreux, se propagent dans l'air, dans un seul et même milieu qui paroît n'être susceptible que d'un seul ton à la fois et au plus d'un seul timbre. Par contre elles ont conduit Newton à une théorie sur la *vîtesse du son* dont le résultat approche assez de celui des expériences, si nous nous r'appellons que l'atmosphère doit avoir des propriétés mécaniques dont nous n'avons encore aucune idée.

Tous les gaz propagent le son mais avec plus ou moins de force, *l'eau* et plusieurs liquides plus fortement que les gaz, *les solides* encore davantage et sur tout avec beaucoup plus de vîtesse que l'air atmosphérique. Ainsi tous les corps sont des *conducteurs du son*, à raison de leur élasticité, densité et structure intérieure. Cette dernière qualité ne doit pas être omise; car sans supposer une structure particulière propre à chaque corps qui met quelque chose de spécifique dans ses vibrations, nous ne concevrions pas la variété

des timbres et encore moins le théorème fourni par l'expérience que, indépendamment de l'élasticité et de la densité, *l'hétérogénéité de différents milieux*, comme telle, *affoiblit les sons dans leur propagation*.

La Nature ne transmet pas les sons uniquement en ligne droite; chaque surface le réflêchit suivant la loi du mouvement réflêchi des corps élastiques. De là les *échos artificiels* et *naturels* qui nous offrent souvent des variétés si singulières que le Physicien a peine à expliquer. Cette considération du son réflêchi dans de grands espaces nous a conduits à examiner l'effet de *la réflexion du son dans de très petits espaces* en forme de tuyaux cylindriques et coniques. Nous avons appris que tout tuyau, en ce qu'il resserre dans son intérieur beaucoup de rayons sonores, qui d'ailleurs s'échapperoient dans l'espace illimité de l'atmosphère, et les renvoie suivant la loi de réflexion, renforce chaque son et le propage avec cette augmentation de force jusqu'à l'autre extrémité du tuyau quelque long qu'il soit, mais avec moins de précision et de clarté que n'a le son direct, parce que les vibrations réflêchies arrivent toutes à différents tems à l'extrémité du tuyau et y produisent un bourdonnement semblable à celui que l'on aperçoit dans une vaste salle et plus considérable. Ces principes étant ceux de la construction des *cornets acoustiques* et des *porte-voix*, il est clair que ces instrumens, d'ailleurs très utiles, doivent avoir le défaut de ne transporter les sons articulés qu'avec une certaine confusion, incouvénient qui rend la théorie de ces instrumens si difficiles.

Enfin nous avons passé des instrumens acoustiques produits par l'Art et examinés par la Science à deux instrumens acoustiques naturels, celui de *la voix* et celui de *l'ouïe de l'homme*, deux chefs-d'oeuvres du Créateur dont les détails infiniment délicats ne peuvent guères être présentés dans un abrégé, et dont l'image vous est encore trop présente pour en motiver la récapitulation.

Telle est la partie de la Physique qu'on regarde comme la plus aride, parce qu'en même tems qu'elle exige bien des calculs et des considérations géométriques, elle se prête peu à l'essort de l'imagination et n'offre pas les résultats brillants ou surprenants que nous fournissent les phénomènes de la chaleur, de la lumière, des opérations chimiques, de l'électricité et de l'aimant, objets qui vont nous occuper dans le cours de nos entretiens.

Mr. de R. Et cependant combien de choses aussi intéressantes et agréables qu'utiles n'avons-nous pas été forcés d'admirer, dans les ouvrages de l'Art et de la Nature et qui dépendent toutes de cette partie de la Physique dont on craint si souvent l'aridité! Après ce tableau concis que vous venez de nous faire de la Mécanique je puis à peine contenir le désir d'entendre une répétition de nos entretiens qui gagneroient infiniment en clarté et en interrêt après l'aperçu général que vous venez de nous en donner.

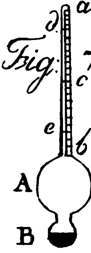
Mr. de P. Je puis vous donner, mon cher, un bien meilleur conseil, celui de regarder nos entretiens comme les préliminaires d'une étude plus approfondie que vous ferez vous-même à l'aide ‹ ›es con-

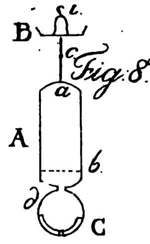
nus dont plusieurs sont excellents, étude qui gagnera en agrémens à chaque pas que vous y ferez, en vous dévoilant les efforts que l'esprit humain a dû faire pour arriver à un certain résultat de vérités bien constatées et d'hypothèses vraisemblables.

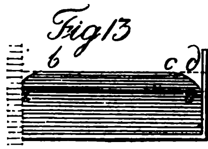
Mr. de G. Il faut l'avouer: aucune branche des connoissances humaines ne possède à un aussi haut degré que la Physique le double avantage de nous donner à la fois une haute idée des progrès de l'entendement humain et de l'immensité de la Nature, de rappeler la dignité de l'homme et nous rammener en même tems aux pieds du Créateur en nous inspirant une adoration vraie et sentie qui est la plus sublime jouissance de l'homme sensible.

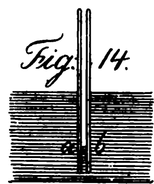
Pl. I.

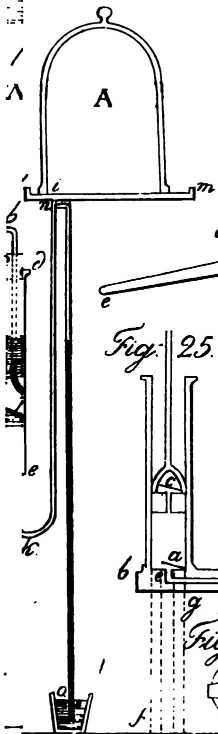

Fig. 6.
f g
d
b c
e

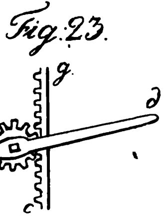

Fig. 7.
a
d
c
e
b
A
B

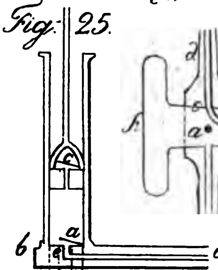

Fig. 8.
i
B
c
a
A
b
d
C


Fig 13
b
c d


Fig. 14.
a b


A
i
m
n
b
d
e
h
o


Fig. 23.
g
a
d
e
c


Fig. 25.
c
a
b
e
d
g
f

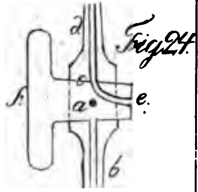
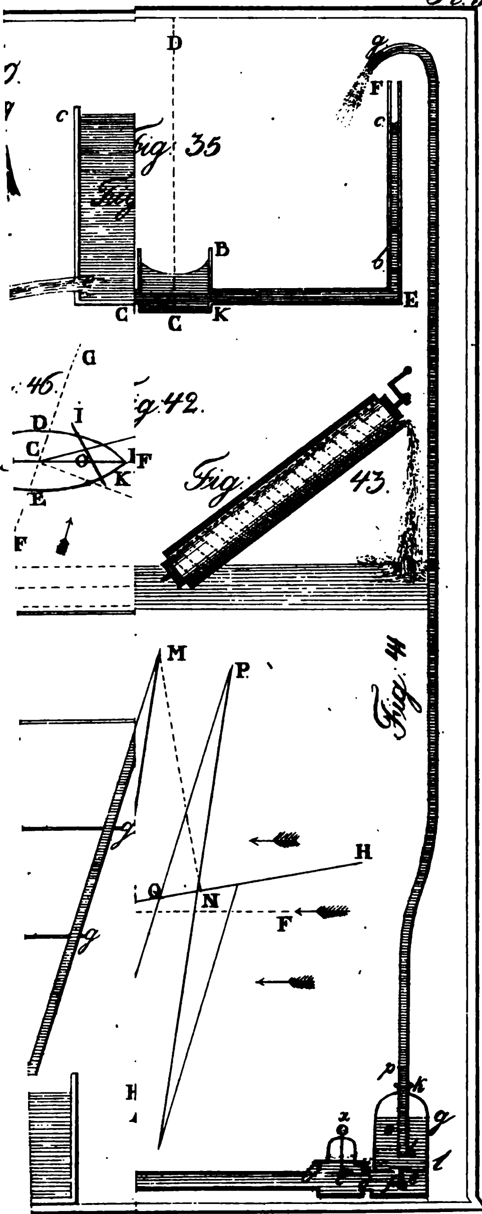
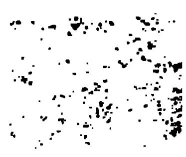

Fig. 24.
d
c
e.
f
a
b

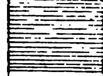

Fig. 26.

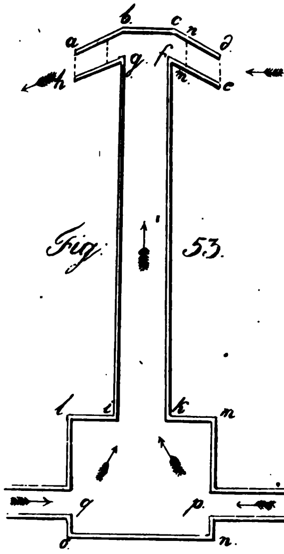

Fig. 35
D
c
B
b
E
C
C
K
F
g
Fig. 42.
46.
G
D
I
C
O
F
E
K
F
Fig. 43.
Fig. 44
M
P
H
Q
N
F
H
g
g
p
k
q
z
l

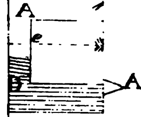


Pl. III

Fig: 4







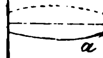
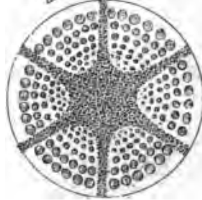


Fig: 52

Fig: 58.



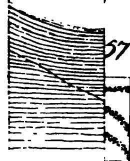


Fig: 62.



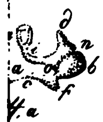


Fig: 68.

